# JÄREYSRUNKOHINNOITTELUN JA TUKIN OPTIMAALISEN APTEERAUKSEN HYÖTYJEN MAKSIMOINTI SAHALIIKETOIMINNASSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2025

Nina Örn

Tarkastaja: Dosentti Petri Niemi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Nina Örn

**Järeysrunkohinnoittelun ja tukin optimaalisen apteerauksen hyötyjen maksimointi sahaliiketoiminnassa**

Tuotantotalouden diplomityö

2025

62 sivua, 18 kuvaa ja 7 taulukkoa

Tarkastaja: Dosentti Petri Niemi

Avainsanat: apteeraus, järeysrunkohinnoittelu, katkonnan ohjaus, puunhankinta, sahateollisuus

Diplomityössä tutkittiin järeysrunkohinnoittelun ja tavoitematriisin hyödyntämistä katkonnanohjauksessa sahaliiketoiminnan kannattavuuden ja asiakaslähtöisyyden parantamiseksi. Tutkimus toteutettiin Metsä Fibren toimeksiannosta vuoden 2025 aikana. Tutkimuksessa analysoitiin lineaarista monimuuttujaoptimointia hyödyntävän sovelluksen avulla eri tukkisumaskenaarioita ja tarkasteltiin tavoitematriisin toteumalukuja.

Tutkimuksen taustalla on sahateollisuuden toimintaympäristön haasteet, kuten raaka-ainekustannusten nousu ja rakentamisen suhdannevaihtelut, joten raaka-aineen optimaalinen hyödyntäminen on välttämätöntä. Katkonnanohjaus on keskeinen vaihe puunhankinnassa, sillä se vaikuttaa suoraan sahatavaran arvosaantoon. Perinteisellä puutavaralajihinnoittelulla katkontaa tehdään puukaupan pituus- ja mittaehtojen puitteissa, kun taas järeysrunkohinnoittelu mahdollistaa pituusjakauman ohjaamisen markkinatilanteen mukaan.

Työ antaa ensimmäisiä viitteitä siitä, miten järeysrunkohinnoittelu ja tavoitematriisi voivat yhdessä ohjata katkonnan optimointia. Tulokset osoittivat, että uudella toimintamallilla katkonnanohjauksessa on potentiaalia tukea kannattavampaa ja asiakaslähtöisempää sahaliiketoimintaa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Nina Örn

**Maximizing the benefits of stem volume-based pricing and optimal log bucking in sawmill business**

Master's thesis

2025

62 pages, 18 figures and 7 tables

Examiner: Docent Petri Niemi

Keywords: bucking, bucking control, sawmilling industry, stem volume-based pricing, wood procurement

This thesis examines the use of stem volume-based pricing and a target matrix in bucking control to enhance the profitability and customer orientation of sawmill operations. The study was commissioned by Metsä Fibre and conducted during 2025. A linear multivariable optimization application was used to analyse various log mix scenarios and evaluate the realization figures of the target matrix.

The research is based on ongoing challenges in the sawmill industry, such as rising raw material costs and cyclical fluctuations in construction, which make optimal raw material utilization essential. Bucking control is a critical phase in wood procurement, as it directly affects the value yield of sawn timber. While the traditional assortment pricing method bases bucking on length and measurement criteria defined in timber trade, stem volume-based pricing enables length distribution to be adjusted according to market conditions.

The study offers preliminary indications of how combining stem volume-based pricing with a target matrix can improve bucking optimization. The results indicate that this new approach has potential to support more profitable and customer-oriented sawmill operations.

**Alkusanat**

Opiskelu työn ohella tai oikeastaan työn lisäksi, on ollut omanlaisensa kokemus. TUDI-koulutusohjelman kurssit sain suoritettua puolessatoista vuodessa suunnitellussa aikataulussa, ja kokonaisuus eteni yllättävän sujuvasti, muutamia hetkiä lukuun ottamatta. Diplomityö sen sijaan on ollut varsinainen puristus ja välillä tuntui, ettei loppua näy, mutta tässä sitä ollaan.

Haluan esittää lämpimät kiitokset kaikille, jotka ovat tukeneet minua tällä opiskelumatkalla. Erityiskiitos Janille mielenkiintoisesta aiheesta ja asiantuntevasta ohjauksesta sekä kiitokset koko Metsän tukitiimille. Koulun puolelta Petriltä saamani selkeät suuntaviivat auttoivat hahmottamaan työn tavoitteet, joista keskeisimpänä oli konkreettinen hyöty työnantajalle. Siinä toivoakseni onnistuttiin.

Lopuksi suuri kiitos Jarille kannustuksesta ja avusta arjen pyörittämisessä sekä kärsivällisyydestä hiljaisten mökkimatkojen aikana, kun naputtelin diplomityötä. Saa nähdä, mihin matka tästä jatkuu, mutta selvää on, että seuraavat vuodet on minun vuoroni istua ratissa.

**Ilmoitukset**

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Nina Örn on käyttänyt seuraavaa tekoälytyökalua opinnäytetyön tekemisessä:

M365 Copilot

1. Työkalun käytön tarkoitus: Tekstin muotoilu ja käännökset.
2. Selvitys työkalun käytöstä: Työkalua on käytetty tukena kirjoitusprosessissa, ei sisällön tuottajana.

**Vastuu**

Kirjoittaja, Nina Örn, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

**Sisällysluettelo**

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Ilmoitukset

1 Johdanto ... 9
1.1 Työn tausta ... 9
1.2 Tavoitteet ja rajaus ... 11
1.3 Tutkimuksen toteutus ... 13
1.4 Raportin rakenne ... 15
2 Puunhankinta ja puukauppa ... 16
2.1 Puunhankinta ... 16
2.2 Puukauppa ja hinnoittelu ... 18
3 Katkonnanohjaus ... 24
3.1 Apteerauksen tavoitteet ... 24
3.2 Raaka-aineen ominaisuudet ja laatu katkonnassa ... 25
3.3 Arvo- ja jakauma-apteeraus ... 27
3.4 Runkokäyrän ennustaminen ja hakkuukonemittaus ... 28
3.5 Hakkuukoneen katkonnanohjausjärjestelmä ja tiedonsiirto ... 30
3.6 Hakkuukoneen kuljettajan vaikutus ... 32
3.7 Leimikon puuston ennakkotiedon merkitys katkonnan optimoinnissa ... 32
3.8 Tavoitematriisi ... 33
3.9 Jakaumaan vaikuttamisen menetelmät ... 34
3.10 Katkonnan ohjauksen toimivuuden arviointi ... 35
4 Tutkimusasetelma ... 37
4.1 Toimeksiantaja ... 37
4.2 Tutkimuksen tiedonhankinta, toteutus ja aineisto ... 38
5 Tulokset ... 41
5.1 Tavoitematriisi ... 41
5.2 Kysynnän rajoitteet ... 43

5.3 Asiakkuudet ..... 46
5.4 Markkina-alueet ..... 48
5.5 Taloudellinen vaikutus ..... 50
6 Johtopäätökset ..... 53
7 Yhteenveto ..... 56

**Käsitteet**

Apteeraus: Puun rungon katkaisukohtien määrittäminen, ottaen huomioon laatu- ja mittavaatimukset.

Kuvio: Leimikon osa, jossa on yhtenevä puusto ja kasvupaikka.

Leimikko: Puunkorjuun ja -kaupan kohteena oleva metsäalue.

PIN-tiedosto: Runkojen katkontaohjeet sisältävä hakkuukonetiedosto.

Puutavaralaji: Tietyt mitta- ja laatuvaatimukset täyttävä rungonosa.

Sahausasete: Määrittelee tukista sahattavat sahatavarakappaleet.

Sydäntavara: Sahatavara, joka valmistetaan tukin keskiosasta.

Tavoitematriisi: Puunhankinnan ohjauksessa käytettävä tuotantolaitoksen tukkiluokkakohtaiset määrät ja pituudet sisältävä taulukko.

Tukkiluokka: Haluttuun läpimittaluokkaan ja laatuun sahalla lajitellut tukit.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Suomen sahateollisuuden kannattavuus jäi vuonna 2024 vaatimattomalle tasolle, eikä vuoden 2025 näkymissä ole havaittavissa merkittävää parannusta, mikäli rakentaminen ei ala elpymään odotettua voimakkaammin. Merkittävä osa sahatavarasta päätyy suoraan tai jatkojalostettuna rakentamiseen, mikä tekee toimialasta riippuvaisen rakennusmarkkinoiden syklisistä vaihteluista. Lisäksi alan yritykset kamppailevat kohonneiden tukkikustannusten kanssa. (Mutanen, 2024, 23) Raaka-aine muodostaa sahateollisuuden suurimman kustannuserän ja puunhankinnan osuus kokonaiskustannuksista on 75–80 prosenttia. Tukin kantohinta oli elokuussa 2024 18 prosenttia korkeampi kuin vuotta aiemmin, kun sahatavaran vientihinta nousi samaisella aikajaksolla vain 5 prosenttia. Vuodesta 2010 lähtien tukin hinta on noussut 40 prosenttia enemmän kuin sahatavaran hinta. (Sahateollisuus ry, 2024)

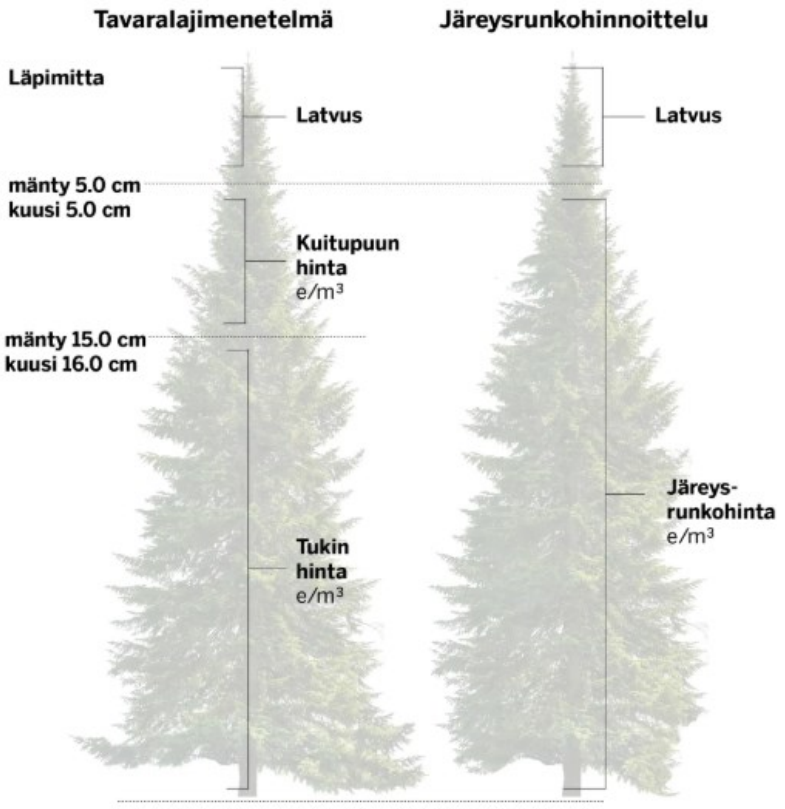
Toisin kuin monilla valmistavan teollisuuden aloilla, joissa tuotantovirta etenee kohti yhtä lopputuotetta, sahateollisuudelle on ominaista hajautuva tuotantovirta, jossa yhdestä raaka-aineesta syntyy useita erilaisia tuotteita (Rönnqvist, 2003, 270). Tuotantovirroiltaan samankaltaisilta teollisuudenaloilta, kuten lihanjalostuksesta, on osoitettu, että raaka-ainevirran hallinta on kilpailukyvyn avain. Näin ollen yksi strategisesti merkittävimmistä tavoista parantaa taloudellista tehokkuutta sahateollisuudessa on tukkien hankinnan parempi ohjaus. Tämä voitaisiin yhdistää keskittymiseen tulojen maksimointiin kustannusten minimoinnin sijaan. (Björheden & Helstad, 2005) Lisäksi metsäteollisuuden vientiriippuvuuden takia kilpailukyvyn varmistaminen edellyttää toimintojen tehokkuuden ylläpitämistä tai parantamista. Alan yleisen näkemyksen mukaan potentiaalia on puuvirran eri osien paremmassa integraatiossa sekä kehittyneiden menetelmien hyödyntämisessä raaka-aineen ja tuotantokapasiteetin käytön tehostamiseksi. Samalla asiakaslähtöisyys korostuu entistä enemmän. (Rönnqvist, 2003, 268)

Jones (1999) puolestaan vertaa metsäteollisuutta kaivosteollisuuteen, sillä molemmat toimialat käsittelevät hajautuneita ja vaihtelevia luonnonvaroja, ja niihin liittyy monitasoisia päätöksentekotilanteita, kuten raaka-aineen kohdentaminen eri lopputuotteisiin, tuotantokapasiteetin hallinta, varastojen optimointi sekä toimitusten suunnittelu markkinakohtaisen

kysynnän mukaan. Vaikka lähde on jo iäkäs, se nostaa esiin lineaarisen optimoinnin potentiaalin näiden toimitusketjun osa-alueiden tehokkuuden parantamisessa – näkökulma, joka on edelleen ajankohtainen ja jota hyödynnetään myös tässä työssä lineaarisen monimuuttujaoptimoinnin keinoin.

Sahateollisuudessa suuret raaka-ainekulut suhteessa lopputuotteen hintaan tekevät raaka-aineen optimaalisen hyödyntämisen toimialalle välttämättömäksi. Sahatavaran tuotannossa puuraaka-aineella ja lopputuotteilla on suora yhteys. Puun runkojen katkaisukohtien määrittäminen, apteeraus, onkin yksi tärkeimmistä päätöksistä puunkorjuussa ja koko puun toimitusketjussa, koska katkonnan lopputulos vaikuttaa merkittävästi liiketoiminnan kannattavuuteen. Lisäksi huonoa katkonnan lopputulosta ei voi korjata myöhemmissä valmistusvaiheissa. (Kivinen, 2007, 8) Marshall (2005, 43) toteaakin katkonnan olevan yksi merkittävimmistä vaiheista, joissa metsän potentiaalinen arvo voi kadota.

Katkonnan optimoinnissa tavoitteet vaihtelevat toimijasta ja markkinatilanteesta riippuen. Puun myyjän näkökulmasta keskeistä on kantorahatulon maksimointi, kun taas ostajalle tärkeää on sahatavaran arvosaanto ja markkinavaatimusten täyttäminen. (Malinen, Wall, Kilpeläinen & Verkasalo, 2011, 8) Suomalaisessa puukaupassa vallitsevana hinnoittelumenetelmänä on ollut puutavaralajiperusteinen malli, jossa mitta- ja laatuvaatimukset määritellään kaupantekohetkellä. Koska puukaupan tekemisen ja hakkuun välillä voi kulua jopa kolme vuotta, ehtivät optimaaliset katkonnat muuttua merkittävästi. Tällöin hinnoittelumallit, kuten järeysrunkohinnoittelu, jossa runkojen katkonta ei vaikuta myyjän puukauppatuloon, tarjoavat ostajalle joustavuutta reagoida markkinatilanteen muutoksiin esimerkiksi sahatavaramittojen osalta. (Heikkilä, 2012) Kuva 1 havainnollistaa näiden kahden hinnoittelumallin eroja.




Kuva 1: Havainnollistava kuva tavaralajimenetelmän ja järeysrunkohinnoittelun erosta. (Kuva: Metsä Group)

Tämä ero hinnoittelutavoissa on keskeinen lähtökohta tälle tutkimukselle, jossa tarkastellaan järeysrunkohinnoittelun mahdollistavaa joustavampaa katkonnan optimointia sahateollisuuden tarpeisiin.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaus

Järeysrunkohinta tarkoittaa puukauppatapaa, jossa metsänomistajalle maksetaan yhtenäinen hinta koko rungosta sen sijaan, että puut ostettaisiin erikseen tukkina ja kuitupuuna. Hintaan vaikuttaa poistettavien puiden keskijäreys, mutta ei se, miten rungot hakkuussa katkotaan. Järeysrunkohinnoittelun osuus yrityksen puukaupoista on vaihdellut noin 10–30 prosentin välillä. Hinnoittelumallin tuomia mahdollisuuksia, kuten tukkien optimointi läpimittojen ja pituuksien mukaan, ei vielä ole saatu maksimaalisesti hyödynnettyä yrityksen sahaliiketoiminnassa.

Tavoitematriisi on taulukkomuotoinen suunnittelutyökalu, jonka avulla ohjataan puunhankintaa sahojen tuotantotarpeiden mukaisesti. Matriisi sisältää tuotantolaitoksen toivotut tukkiluokkakohtaiset määrät ja pituudet. Yrityksessä otettiin käyttöön vuoden 2025 kolmannelle kvartaalille uusi, aiempaa tavoitteellisempi matriisi, johon tunnistettiin muutostarpeita pituusjakauman optimoimiseksi. Sen laadinnassa otetaan huomioon markkinoiden rajoittamaton kysyntä, avainasiakkaiden vaatimukset, kannattavuus sekä sahojen tuotantomahdollisuudet ja rajoitteet.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka maksimoida tavoitematriisin toteutusta puunhankinnassa hyödyntäen järeysrunkohinnoittelun antamat mahdollisuudet pystykauppojen vapaamassa katkonnassa yhdistettynä muihin tukkitoimituslähteisiin.

Tutkimuskysymyksinä ovat:

- Päästäänkö järeysrunkohinnoittelun mahdollistamalla tukkien pituusjaon optimoinnilla lähemmäs tavoitematriisia?

- Saavutetaanko toiminnalla lisäarvoa sahaliiketoiminnalle, ja kuinka paljon verrattuna perinteiseen puutavaralajihinnoitteluun perustuvaan puunhankintaan?

Tukin apteerauksen optimointia voidaan pitää metsäteknologian klassisena tutkimusongelmana (Uusitalo, Kokko & Kivinen, 2004, 292). Aihetta on lähestytty erityisesti kahden pääongelman kautta: yksittäisen puun arvon maksimoiminen (buck-to-value) ja leimikko- tai metsätason katkonta kysyntärajoitteiden puitteissa (bucking-to-order) (Marshall, 2005). Vaikka katkonnan optimointia koskevia teoreettisia malleja on kehitetty laajasti, niiden käytännön soveltaminen on ollut vähäistä. Marshallin (2005, 18) mukaan julkaistua tutkimusta toteutuksista on niukasti, ja useimmissa tapauksissa katkonnan optimoinnin päätökset tehdään edelleen manuaalisesti kokeilujen ja suunnittelijoiden kokemuksen perusteella.

Rautalin (2020) tutki gradussaan runko- ja rungonosahinnoittelun käytettävyyttä puukaupassa vertailemalla puukaupan lopullisia arvoja eri puunhinnoittelutavoilla. Molemmat vaihtoehtoiset hinnoittelumenetelmät tuottivat keskimäärin hieman korkeampia leimikkoarvoja kuin tavaralajihinnoittelu, mutta erot olivat sen verran pieniä, että ne voidaan tutkimuksen mukaan kompensoida katkonnan vapauttamisen tuomilla tuotanto- ja toimitusketjun optimointihyödyillä. Tämä tutkimus tarkastelee, voidaanko järeysrunkohinnoittelun

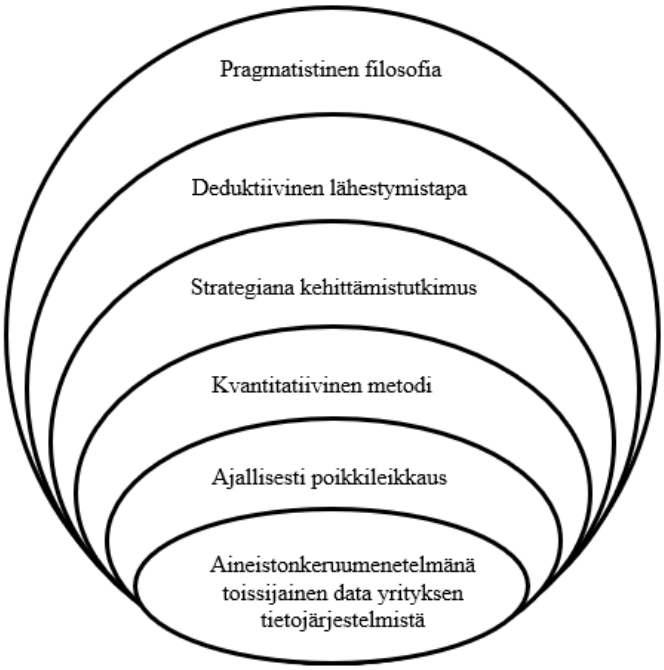
mahdollistamalla vapaammalla katkonnalla saavuttaa hyötyjä sahaliiketoiminnan arvonmuodostuksen näkökulmasta. Työssä ei käsitellä korjuun operatiivisen toiminnan optimointia tai logistiikan kustannusvaikutuksia, vaan fokus on korjattavan tukin jalostusarvon maksimoinnissa ja sen vaikutuksista liiketoiminnallisiin mittareihin.

## 1.3 Tutkimuksen toteutus

Tämä työ on toteutettu Metsä Fibren toimeksiannosta. Diplomityö käynnistyi keväällä 2025 ja valmistui loppuvuodesta 2025. Teoriaosuus laadittiin kevään ja kesän aikana, aineisto kerättiin alkukesällä ja syksyllä, ja optimointianalyysit toteutettiin elo–lokakuun aikana.

Työ koostui seuraavista vaiheista: 1) kirjallisuuskatsaus ja teoriaosuuden laatiminen, 2) aineiston eli eri tukkisumien valinta ja muodostaminen, 3) optimointisovelluksen käyttö skenaarioiden muodostamiseen sekä tavoitematriisin toteumalukujen laskeminen, 4) tulosten analysointi, sekä 5) johtopäätösten tekeminen ja raportointi.

Tutkimuksen metodologinen rakenne esitetään Saundersin & Lewisin & Thornhillin (2015) esittämän sipulimallin avulla, joka etenee kerroksittain filosofisista lähtökohdista kohti käytännön menetelmiä. Malli auttaa kuvaamaan tutkimuksen filosofian, lähestymistavan teoriaan, strategian, menetelmälliset valinnat, aikajänteen sekä aineistonkeruumenetelmät. Sipulimalli on laajasti käytetty metodologian jäsentämisen väline, mutta sillä on myös rajoitteita ja siksi sitä hieman sovelletaan tämän työn osalta. Keskeinen rajoite on, että sipulimalli ei tunnista esimerkiksi kehittämistutkimusta tai toimintatutkimusta tutkimusstrategiaksi, sillä nämä liittyvät mallin mukaan tutkimuksen tarkoitukseen ja rooliin, eivät metodologisiin kerroksiin (Saunders et al., 2015; Reyngaard, 2025). Kuvassa 2 on esitetty tämän tutkimuksen metodologinen rakenne.




Kuva 2: Tutkimuksen metodologinen rakenne (mukaillen Saunders et al, 2015)

Tässä työssä filosofinen lähtökohta on pragmatistinen, sillä tavoitteena tunnistaa järeysrunkohinnoittelun potentiaalisia hyötyjä. Pyrkimyksenä ei ole teoreettinen selitys, vaan hyötyjen arviointi päätöksenteon tueksi. Teorian kehittämisen lähestymistapa on deduktiivinen, koska analyysi pohjautuu olemassa oleviin käsitteisiin, kuten katkonnan optimointiin, jonka toimivuutta testataan simuloimalla.

Tutkimusstrategiaksi on valittu kehittämistutkimus, koska työn tavoitteena on arvioida ja kehittää katkonnanohjausta tukevia menetelmiä käytännön toimintaympäristössä sekä todentaa niiden vaikutuksia. Kehittämistutkimuksessa tarkoitus ei ole pelkästään selittää ilmiöitä, vaan suunnitella ja arvioida ratkaisuja todellisiin ongelmiin käytännön kontekstissa. Lähestymistapa korostaa tutkimuksen käytännön merkitystä ja ratkaisukeskeisyyttä, mikä erottaa sen perinteisistä selittävistä tutkimusstrategioista. (van Aken & Romme, 2012, 3–4)

Menetelmällinen valinta on kvantitatiivinen, mikä perustuu tarpeeseen mitata ja vertailla eri tukkisumien vaikutuksia yrityksen liiketoiminnallisiin mittareihin. Keskeisenä työkaluna toimii lineaariseen monimuuttujaoptimointiin perustuva sovellus, jonka avulla simuloidaan realistisia tukkisumia ja vertaillaan niiden vaikutuksia objektiivisesti.

Aikajänne on poikkileikkaus, sillä analyysissä keskitytään vuoden 2024 kolmannen neljänneksen ja vuoden 2025 kolmannen neljänneksen tukkiennusteisiin ja toteutumiin. Lisäksi verrataan vuoden 2025 toisen ja kolmannen kvartaalin tavoitematriisin toteumalukuja. Aineistonkeruu perustuu yrityksen tietojärjestelmistä saatavaan toissijaiseen dataan. Data kattaa tutkimuksen kannalta olennaiset muuttujat ja sisältää ennustettujen, toteutuneiden ja teoreettisten tukkisumien lisäksi tuotanto- ja kysyntätietoja, joita käytetään optimointilaskelmien lähtötietoina. Tutkimuksessa hyödynnetään myös asiantuntijatietoa.

## 1.4 Raportin rakenne

Johdannossa esitellään tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset. Lisäksi kuvataan tutkimuksen toteutustapa sekä raportin rakenne.

Luku 2 aloittaa kirjallisuuskatsauksen ja siinä tarkastellaan puunhankinnan erityispiirteitä sahaliiketoiminnan näkökulmasta, puunhankintaprosessia sekä puukaupan hinnoittelumalleja.

Luku 3 jatkaa kirjallisuusosuutta syventyen katkonnan ohjaukseen ja sen taustalla vaikuttaviin tekijöihin.

Luku 4 esittelee tutkimusasetelman, mukaan lukien käytetyt aineistot, menetelmät ja analyysitavat.

Luku 5 sisältää tutkimuksen tulokset, jotka esitetään visuaalisesti graafien avulla ja tulkitaan sanallisesti keskeisten havaintojen osalta.

Luku 6 kokoaa johtopäätökset, joissa arvioidaan tutkimuksen tulosten merkitystä ja sovellettavuutta käytännössä.

Luku 7 toimii tiivistelmänä, jossa kootaan yhteen työn keskeinen sisältö ja tulokset.

# 2 Puunhankinta ja puukauppa

## 2.1 Puunhankinta

Uusitalo (2005, 37) viittaa artikkelissaan kahteen perinteiseen puunhankinnan määritelmään. Ensimmäinen, perinteisin puunhankinnan määritelmä käsittää puun oston, puunkorjuun, kuljetuksen ja raaka-aineen vastaanoton tehtaalla. Toisen, melko yleisesti käytetyn määritelmän mukaan, puunhankinta kattaa kaikki toiminnot, joita tarvitaan puuraaka-aineen toimittamiseksi metsästä tehtaalle. Uusitalo (2005, 38) laajentaa määritelmää edelleen kuvaamalla puunhankinnan prosessina, jossa tekniset, kaupalliset ja logistiset toiminnot kytkeytyvät yhteen, ja jonka tavoitteena on toimittaa puuraaka-ainetta puunjalostuslaitoksille tuotantoprosessin ja lopputuotteen vaatimukset huomioiden. Puukauppa ja raakapuun osto on hankintaketjun ensimmäinen vaihe, joka samalla asettaa ensimmäiset rajoitteet tehtaiden raaka-ainekysynnän tyydyttämiselle (Malinen & Berg & Kilpeläinen, 2010, 6).

Toimitusketjun hallinnan lainalaisuudet pätevät puunhankintaan, mutta moneen muuhun liiketoimintaan verrattuna puunhankinnassa on kuitenkin erityispiirteitä, jotka pitää ottaa huomioon. Ensinnäkin metsästä ei korjata yksittäisiä tuotteita, vaan metsää korjataan hakkuun kohteena olevan puuston ja tulevan metsänkasvun ehdoilla. Toiseksi samasta raaka-aineyksiköstä voidaan valmistaa useita eri tuotteita, joiden arvosuhteet voivat vaihdella voimakkaasti. Kolmanneksi puunhankintalogistiikalle on ominaista merkittävä kausivaihtelu. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 34)

Adolfson & Melin & Markgren (2000, 12–13) tunnistavat sahojen ja perinteisen valmistavan teollisuuden toimintaympäristön välillä kolme keskeistä eroa. Asiakastilauslähtöisessä tuotannossa tarvittavan raaka-aineen lisäksi tulee myös ei haluttua raaka-ainetta. Sahan on kuitenkin löydettävä markkinat kaikista tukeista valmistettaville tuotteille, mikä voi johtaa varastointitarpeeseen ja lisäkustannuksiin. Raaka-aineen heterogeenisyys aiheuttaa epävarmuutta raaka-aineen ja lopputuotteen välillä, minkä vuoksi valmiiden tuotteiden laatua ja määrää on vaikea ennustaa tarkasti. Lisäksi erityisesti pienet sahayhtiöt ovat riippuvaisia puunhankinta-alueestaan, mikä edellyttää tuotevalikoiman ja asiakaskunnan tasapainottamista käytettävissä olevan raaka-ainepohjan kanssa. Helstad (2006, 7) korostaa puunhankintaprosessin strategista merkitystä sahoille, sillä sahatavaran ominaisuudet määräytyvät

raaka-aineen ominaisuuksien perusteella. Tukit käsitellään hajaantuvassa materiaalivirrassa, joten tuotannossa syntyy laaja valikoima sekä tilattuja että tilaamattomia tuotteita. Jokainen tilattu tuote tuottaa myös muita tuotteita. Tämä tarkoittaa, että tuotannosta lankeaa myös markkinoilla vähemmän houkuttelevia tuotteita, varsinkin jos tuotantomahdollisuuksia ei saada kohdistettua vastaamaan kysyntää.

Nykyään puunhankintaa ja sahausta ohjaakin asiakaslähtöinen filosofia ja puut hankitaan markkinoiden, asiakkaiden ja lopputuotteiden vaatimusten mukaan. Tukkien laadun ja pituus-halkaisijajakauman tulee täyttää tuotteiden vaatimukset sekä rungot tulee katkaista vaatimusten mukaan. Tavoitteena on maksimoida puupohjaisista tuotteista saatava nettotuotto maksimoimalla ostetun puuraaka-aineen lisäarvo. (Malinen & Kilpeläinen & Wall & Verkasalo, 2006, 90) Jokainen tukki, jonka sahauksesta syntyy vaikeasti myytävää sahatavaraa, aiheuttaa markkinointiosastolle päänvaivaa (Malinen et al. 2010, 19).

Tuotelähtöisyyden toteuttamismahdollisuudet puunhankinnassa riippuvat olennaisesti siitä, millaisia leimikot ovat puustoltaan ja millaisia hakkuukohteita on tarjolla. (Räsänen & Lukkarinen, 1998, 7) Puukaupan kohteena ovat pääsääntöisesti kokonaiset leimikot, ja käytännössä metsästä lähtee useita logistisia ketjuja eri puutavaralajien osalta (Uusitalo & Kivinen, 2023, 102). Yhdestä puuleimikosta saadaan raaka-ainetta useisiin tuotteisiin ja tuotantolaitoksiin, mutta raaka-aineiden soveltuvuus tuotantoon vaihtelee ja ne voivat korvata toisiaan vain rajoitetusti. Tämä lisää tarvetta kokonaisuuden hallintaan määrän, ajoituksen ja kustannusten osalta. (Pennanen, 1997, 106) Lisäksi kaikille puutavaralajeille ei välttämättä ole käyttöä omilla tehtailla, joten toimivia puunvaihtosopimuksia metsäyhtiöiden kesken tarvitaan. Erityisesti Pohjoismaissa puuta jalostavat yritykset ovat yhdistyneet suuriksi biotuotekonserneiksi, joilla on monentyyppistä jalostustoimintaa. Näiden konsernien puunhankintaorganisaatiot toimivat usein hyvin laajalla alueella ja hankkivat kaikkia pääpuutavaralajeja. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 102) Ne välittävät sahatukkia myös toisille yrityksille ja tekevät puunvaihtoja. Omaa puunhankintaa on myös pienemmillä sahoilla ja ne vastaavasti välittävät sahaukseen soveltumattoman puun massateollisuudelle tai energiantuotantoon. (Suomen puumarkkinatoimintaa koskeva selvitys, 2009, 15, 29)

Puunhankinnassa varastolla tarkoitetaan kaadetun ja katkotun puutavaran varastoja, varanto taas tarkoittaa kaatamatonta metsää, josta on tehty puukauppa (Uusitalo & Kivinen, 2023, 102). Puunhankinnan koordinointi ja operatiivinen ohjaus ovat tehokkaimmillaan silloin, kun puusto on vielä hakkaamattomana metsässä. Tällöin toimitusketjun tarpeet voidaan

huomioida jo runkojen katkonnan suunnittelussa, mikä mahdollistaa joustavamman resurssien kohdentamisen ja toimitusaikataulujen optimoinnin. Pystyvarannot mahdollistavat tuotantolaitoksille nopeat puuraaka-aineen toimitukset suoraan metsästä, mikä vähentää puutavaravarastojen tarvetta sekä siihen liittyviä varastointivaurioita. (Pennanen, 1997, 106) Sopivankokoisten varastojen ja varantojen avulla pyritään myös tasoittamaan puunhankinnan kausivaihtelua (Uusitalo & Kivinen, 2023, 102). Keväällä varastointitarvetta lisää kelirikkokausi, jolloin kuljetus ei ole mahdollista kaikista paikoista (Mäkelä, 2002, 464).

Puunkorjuumenetelmiä on periaatteessa kaksi: tavaralajimenetelmä ja kokorunkomenetelmä. Pohjoismaissa tavaralajimenetelmä on selvästi vallitseva hakkuumenetelmä, kun taas Pohjois-Amerikassa runkomenetelmä on edelleen yleistä. (Kivinen, 2007, 9) Puutavaralajimenetelmässä puut katkotaan valmiiksi puutavaralajeiksi jo metsässä. Runkomenetelmässä puut kaadetaan ja karsitaan metsässä, ja kuljetetaan sitten tienvarsivarastoon. Siellä puusta erotetaan yleensä kuitupuuosa, ja tukkiosa toimitetaan yhtenä runkona jatkojalostukseen. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 49) Tehtiinpä katkaisu metsässä tai tehtaan pihalla, keskeistä on mihin puutavaralajiin, pituuteen, halkaisijaan ja laatuun puun runko tulisi katkaista (Kivinen, 2007, 9).

## 2.2 Puukauppa ja hinnoittelu

Puukaupassa käytettäviä kauppamuotoja ei ole säännelty lainsäädännössä, vaan ne ovat enemmän tai vähemmän vakiintuneita käytäntöjä. Myöskään kaikille toimijoille yhteisiä sopimusehtoja ei ole, mutta vakiintuneiden puukauppatapojen vuoksi eri ostajien yrityskohtaiset sopimusehdot ovat samankaltaiset ja koskevat samoja asioita. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 39)

Yleisin puukauppatapa Suomessa on pystymyynti, jossa myyjä luovuttaa ostajalle oikeuden hakata ja korjata puuta kaupan kohteena olevalta alueelta. Pystykauppa kohdistuu puukaupassa sovittuun alueeseen eli leimikkoon. Pystykauppamalli mahdollistaa puutuoteteollisuudelle pystyleimikkovarantojen hankkimisen, puunkorjuun ajoittamisen sekä puunkatkonnan ohjaamisen. (Suomen puumarkkinatoimintaa koskeva selvitys, 2009, 32) Puukauppa voidaan somia myös hankintakauppana, jossa puunmyyjä kaataa ja kuljettaa puut tienvarsivarastoon (Uusitalo & Kivinen, 2023, 34). Toimitussopimus tarkoittaa puukauppamuotoa, jossa myyjä vastaa sekä puun korjuusta että kaukokuljetuksesta ja toimittaa puutavaran

ostajan nimeämään luovutuspaikkaan, yleensä suoraan tehtaalle, sovitussa aikataulussa. Toimituskauppa on yleinen esimerkiksi Metsähallituksen puukaupassa. (Puuhuolto.fi, 2022) Yksityismetsänomistajien hankintahakkuut ovat keskittyneet lähinnä harvennushakkuisiin, ja niissä erityisesti ensiharvennuksiin. Tähän on vaikuttanut merkittävästi hankintapuun hinnoittelu, joka on ollut kuitupuuta suosivaa ja tukkipuuta karttavaa. (Suomen puumarkkinatoimintaa koskeva selvitys, 2009, 32) Vuonna 2024 pystykauppojen osuus puukaupasta oli 93 prosenttia ja hankintakauppojen osuus 7 prosenttia. Yli kolme neljäsosaa hankintakauppojen ostoista oli kuitupuuta. (Luonnonvarakeskus, 2025)

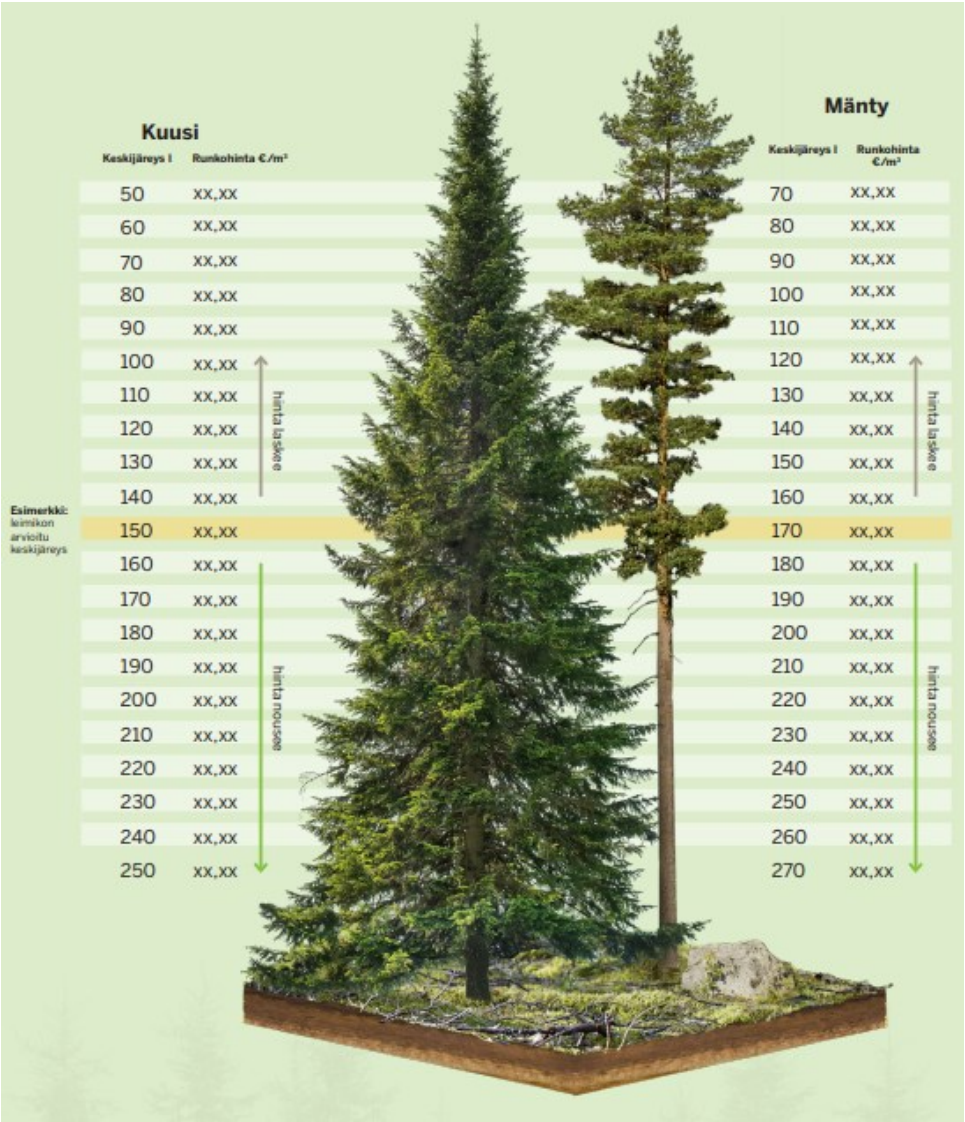
Puu on heterogeeninen raaka-aine, mikä tarkoittaa, että eri lajeilla, laaduilla ja mitoilla on erilainen arvopotentiaali eri käyttötarkoituksiin. Monissa maissa on käytössä hinnoittelujärjestelmiä, joissa raaka-aineen myyntiarvo eli nettotulo metsänomistajalle on sidottu loppukäyttöön ja esimerkiksi sahatukilla on korkeampi hinta kuin kuitupuulla. (Malinen & Kilpeläinen, 2013, 307) Hinnoittelussa käytetään Suomessa pääasiassa puutavaralajihinnoittelua, mutta sen rinnalle on tullut myös vaihtoehtoisia hinnoittelumenetelmiä, kuten runko-, järeysrunko- tai rungonosahinnoittelua. Näistä erityisesti järeysrunkohinnoittelu on yleistynyt. (Puuhuolto.fi, 2022)

*Puutavaralajihinnoittelu*

Puutavaralajihinnoittelua käytettäessä puukaupassa sovitaan puutavaralajeista, mitä kaupan kohteena olevan alueen puista valmistetaan. Puutavaralajeja ovat esimerkiksi tukki, pikkutukki ja kuitupuu. Kaupan yhteydessä määritellään kullekin puutavaralajille tarkat mitta- ja laatuvaatimukset sekä yksikköhinta (€/m³). Rungot katkotaan näiden ennalta sovittujen vaatimusten mukaisesti siten, että pyritään maksimoimaan tukkiosan hyödyntäminen sallittujen katkontapituuksien rajoissa. (Puuhuolto.fi, 2022)

*Runko- ja järeysrunkohinnoittelu*

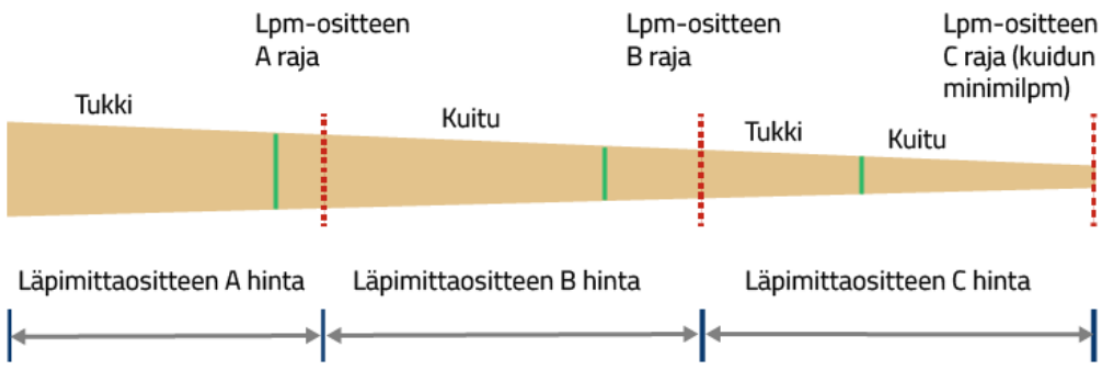
Runkohinnoittelussa puut ostetaan kokonaisina runkoina ja niille määritellään puulajikohtaisesti minimimitat täyttävien runkojen tilavuuteen perustuva hinta. Järeysrunkohinnoittelussa sovitaan esimerkiksi kuvan 3 mukaiset hintaportaat keskijäreyden mukaan, ja lopullinen yksikköhinta määräytyy korjatun kertymän keskijäreyden perusteella. Runkojen katkonta ei vaikuta hinnoitteluun. (Puuhuolto.fi, 2022)




Kuva 3: Esimerkki järeysrunkohinnoittelun hintamatriisista (Kuva: Metsä Group)

*Rungonosahinnoittelu*

Rungonosahinnoittelu määritellään puulajeittain läpimittaan perustuvat ositteet, joille asetetaan omat tilavuuteen perustuvat yksikköhinnat. Hakkuukoneen mittalaite tunnistaa rungon prosessoinnin aikana ne kohdat, joissa ositteet vaihtuvat, ja laskee kullekin pölkylle ositekohtaisen tilavuuden. Katkonta voidaan toteuttaa puutavaralajien mittavaatimusten mukaisesti riippumatta siitä, miten eri läpimittaositteet on hinnoiteltu. (Puuhuolto.fi, 2022) Kuvassa 4 on esitetty rungonosahinnoittelun periaate.

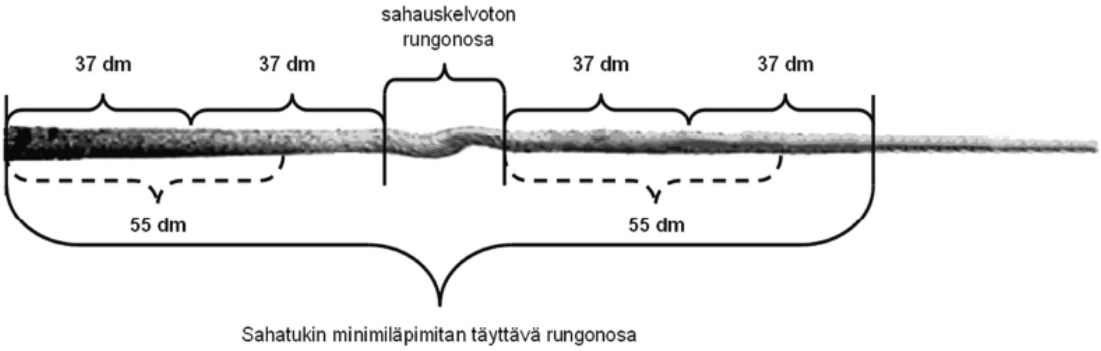



Kuva 4: Rungonosahinnoittelun periaate (kuva: Puuhuolto.fi, 2022)

Jo vuonna 2014 maa- ja metsätalousministeriön puumarkkinatyöryhmä esitti rungonosahinnoittelun käyttöönottoa osana puukaupan kehittämistä. Tavoitteena oli lisätä puukaupan osapuolten välistä luottamusta tarjoamalla hinnoitteluun standardinomainen ja läpinäkyvä menetelmä. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2014) Rungonosahinnoittelun käyttö on toistaiseksi ollut vähäistä (Puuhuolto.fi, 2022).

Puutavaralajeihin perustuva hinnoittelu jättää pystykaupoissa avoimeksi sen, minkä osan rungosta ostaja katkoo tukkipuuksi, mikä kuitupuuksi ja mikä jää hakkuutähteeksi. Hinnoittelutapa aiheuttaa huomattavissa määrin rungon katkontaa koskevia erimielisyyksiä puukaupassa. (Suomen puumarkkinatoimintaa koskeva selvitys, 2009, 91) Puutavaralajihinnoittelu korostaa myyntiarvon ja käyttöarvon yhteensovittamisen ongelmaa (Piira & Kilpeläinen & Malinen & Wall & Verkasalo, 2007, 20). Myyntiarvo tarkoittaa puutavaralajeihin ja niiden markkinahintoihin perustuvaa kantoraha-arvoa, kun taas käyttöarvo kuvaa tuotteista saatavan tuoton ja koko tuotantoketjun kustannusten erotuksena muodostuvaa jäännösarvoa (Malinen et al, 2011, 7). Katkonta, joka tuottaa parhaan myyntiarvon, vastaa harvoin parasta käyttöarvoa. Vastaavasti katkonta, joka tähtää korkeimpaan käyttöarvoon, ei yleensä maksimoi tukkisaantoa. Tästä syystä mittavaatimuksissa ja katkonnanohjauksessa tasapainoillaan ristiriitaisten tavoitteiden välillä. (Piira et al, 2007, 20) Osa metsänomistajista on epäillyt, että arvokkaita sahatukin osia kuljetetaan kuitupuuksi. Todellisuudessa rungossa ei ole itsessään "arvokasta tukkiosaa" – tukki on arvokas vain, jos saha pystyy valmistamaan siitä kannattavia tuotteita. Ostajan näkökulmasta väite sekoittaa käsitteet *arvokas* ja *kallis*. Sahalle toimitettava tukki on aina kallista, mutta ei välttämättä arvokasta. Arvo syntyy vasta tuotantoprosessin ja lopputuotteen kautta. (Lappi, 2024, 235).

Kuvan 5 esimerkki havainnollistaa, kuinka katkonta vaikuttaa rungosta saatavaan tukin määrään. Rungossa on 7,4 metrin sahauskelpoinen osa mutkaisen keskiosan molemmin puolin. Kun käytetään joustavia mittavaatimuksia (esim. 3,7 m tukit), koko sahauskelpoinen osa saadaan hyödynnettyä neljän tukin muodossa. Jos minimipituus nostetaan neljään metriin, saadaan vain yksi maksimipituinen tukki kummastakin osasta, jolloin 3,8 metriä jää hyödyntämättä. Väljemmät mittavaatimukset voivat lisätä tukkikertymää ja kasvattaa metsänomistajan kantorahatuloa. Kuitenkin leimikon puuston käyttöarvo määräytyy ennen kaikkea sen mukaan, kuinka hyvin puutavaralajikertymä soveltuu tuotantoon määrällisesti ja laadullisesti. Jos sahatavaran kysyntä painottuu pitkiin mittoihin, tukkisaantoa kohottavien lyhyiden pituuksien katkonta ei ole perusteltua. (Malinen et al, 2011, 7–8)




Kuva 5: Esimerkki katkonnan mittavaatimusten vaikutuksesta tukkisaantoon (kuva: Malinen et al, 2011, 8)

Malinen (2011) tarkastelee, onko katkonta ensisijaisesti jalostuspäätös vai raaka-aineen hinnan määrittelyä. Malisen et al. (2010, 19) mukaan optimaalinen hinnoittelumekanismi ei saisi rajoittaa raaka-aineen arvon optimointia. Lisäksi sen tulisi olla läpinäkyvä, helposti tulkittava ja kannustaa laadukkaan ja järeän raaka-aineen tuottamiseen.

Suomessa pystykauppasopimus voidaan tehdä jopa kolmea vuotta ennen korjuuta. Markkinatilanne sopimuksen tekemisen ja korjuun välillä on saattanut muuttua merkittävästi ja mikäli puukauppasopimuksessa on määritelty mitä metsästä pitää kaataa, se voi johtaa ei toivottuihin raaka-aineisiin. (Malinen et al, 2010, 20) Hinnoittelumekanismin ei tulisi heikentää myyjän tuloja, vaikka ostaja toteuttaa markkinatilanteeseen parhaiten soveltuvan katkonnan. Esimerkiksi huonojen talviolosuhteiden takia vuodella siirtyvät talvileimikot tulisi voida katkoa kulloisenkin tarpeen mukaisilla katkontaohjeilla. (Heikkilä, 2012, 4, 9)

Vaihtoehtoisten hinnoittelumenetelmien kehittämisen taustalla on osittain myös se, että nykyinen tavaralajimenetelmä ei kannusta puutavaran laadun ja järeysasteen parantamiseen suhteessa sen jalostusarvoon (Heikkilä, 2012, 3). Puutavaralajihinnoittelu ei huomioi eroa laadukkaiden, järeiden tukkien ja heikkolaatuisten, pienempien tukkien välillä, vaikka näiden jalostusarvojen ero voi olla yli kaksinkertainen (Malinen, 2011, 51). Tavaralajihinnoittelu voi lyhentää leimikoiden kiertoaikaa, mikä puolestaan vähentää tukkisuman järeyttä ja voi heikentää sahojen kykyä maksaa raaka-aineesta. Pitkällä aikavälillä tämä voi vaikuttaa metsätalouden kannattavuuteen ja johtaa laadukkaan raaka-aineen puutteeseen. (Heikkilä, 2012, 3)

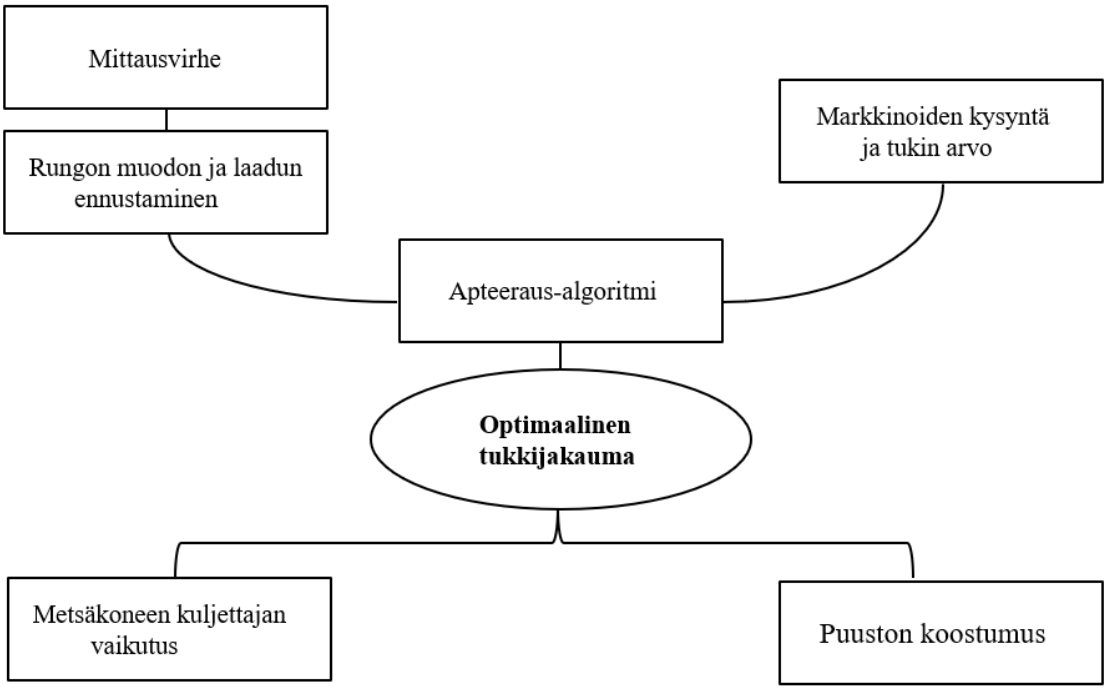
# 3 Katkonnanohjaus

## 3.1 Apteerauksen tavoitteet

Apteeraus tarkoittaa puun rungon katkaisukohtien määrittämistä ottaen huomioon laatu- ja mittavaatimukset. Larozen (1999, 108) mukaan apteerausoptimointia esiintyy kolmella tasolla: rungon, leimikon ja koko metsän tasolla, joissa pyritään maksimoimaan arvo tai tuotto eri rajoitteet huomioiden. Katkonnan optimoinnissa joudutaan usein tekemään kompromisseja eri tarkastelutasojen välillä. Yksittäisen rungon optimaalinen katkonta ei välttämättä tuota parasta lopputulosta leimikkotasolla, eikä leimikkokohtainen optimointi takaa metsätason kokonaistavoitteiden toteutumista (Uusitalo, 2005, 43). Metsätaso voi tarkoittaa myös esimerkiksi metsäyhtiön hankinta-aluetta (Tikkanen & O & Palander, 2009). Suurten metsäyhtiöiden puuvirtojen suunnittelussa ja katkonnan optimoinnissa on otettava huomioon koko puusuma.

Katkonta on ratkaiseva vaihe puun arvoketjussa varsinkin järeiden rungonosien kohdalla. Katkaisupäätös vaikuttaa suoraan rungon käyttöarvoon, eikä katkontaa pystytä enää korjaamaan sahalla. (Hämäläinen & Holopainen & Hynynen & Jyrkilä & Rajala & Ritala & Räsänen & Visala, 2014, 240) Runkojen katkonta toteutetaan siten, että lopputuotteiden laatu ja tuotantotavoitteet voidaan optimoida. Katkonnassa pyritään ensinnäkin varmistamaan, ettei tukkeihin tai kuitupuuhun jää sellaisia vikoja, joita ei sallita kyseisessä puutavaralajissa. Lisäksi tavoitteena on minimoida rungossa esiintyvien vikojen vaikutus puutavaralajisaantoihin. Katkonnassa pyritään myös siihen, että sallitut minimiläpimitat saavutetaan mahdollisimman usein, ja että tavoitejakauma toteutuu mahdollisimman hyvin. (Metsäteho, 2005, 72)

Optimaalisen tukkijakauman saavuttamiseen hakkukoneapteerauksessa vaikuttavat muun muassa teknologiset ratkaisut, ostajan ja myyjän tarpeet, operatiiviset päätökset sekä puuston rakenteellinen vaihtelu. Marshall (2005, 35) esittelee väitöskirjassaan näiden neljän eri osa-alueen vuorovaikutusta kuvassa 6.




Kuva 6: Tekijät, jotka vaikuttavat optimaaliseen tukkijakaumaan hakkuukoneapteerauksessa (kuva: mukailtu Marshall, 2005, 35, alkuperäinen Uusitalo & Kivinen, 2001)

Tukin arvon osalta edellisessä luvussa käytiin läpi hinnoittelumenetelmiä ja niiden vaikutusta katkontaan. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin muita yllä olevassa kuvassa esitettyjä katkonnan lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä.

## 3.2 Raaka-aineen ominaisuudet ja laatu katkonnassa

Puuraaka-aineen ominaisuuksiin vaikuttavat puulajin lisäksi muun muassa puun ikä, kasvunopeus, kasvupaikan olosuhteet sekä ilmasto. Lisäksi yksittäisen puun sisäiset ominaisuudet vaihtelevat muuttuvat ytimestä pintaan ja tyvestä latvaan. Jalostuksen kannalta tukin tärkeimmät ominaisuudet ovat läpimitta, oksaisuus ja pituus. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 38, 44)

Tukkien minimilatvaläpimitat vaihtelevat markkinatilanteen mukaan, mutta yleisesti mäntytukin pienin sallittu latvaläpimitta on 15 cm ja kuusella 16 cm. Yhtiöt voivat asettaa omia vaatimuksiaan sahatukin maksimiläpimitalle, esimerkiksi 55 cm. Tukin järeys vaikuttaa oleellisesti sahatavarasaantoon ja järeä tukki myös sopii useampiin tuotteisiin, kuin

pienikokoinen tukki. Järeä tukki on yleensä oksattomampi kuin pienikokoinen tukki ja siten tilavuusyksikköön suhteutettuna myös arvokkaampi. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 44)

Oksien laatu, määrä ja sijainti vaikuttavat merkittävästi sahatavaran laatuun, sillä ne heikentävät lujuutta, aiheuttavat muutoksia kuivauksen aikana sekä niillä on ulkonäöllinen merkitys (Räsänen & Pajuoja, 2017, 44). Sahatavaran laatu määräytyy pääasiassa oksien koon, määrän ja laadun perusteella, joten sahatukille määritetään yleensä terveen ja kuivan oksan maksimirajat. Laatuvaatimuksissa määritellään myös puutavaran viat, joita sahatukissa ei saa esiintyä, tai vioille asetetaan enimmäisarvot. Vikaisuuksia ovat esimerkiksi rungon mutkaisuus, lenkous tai laho. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 24)

Mäntytukki jaetaan yleisesti kuvan 7 mukaisesti kolmeen laatuluokkaan: oksaton tyvitukki, kuivaoksainen väli- tai tyvitukki ja terveoksainen latvatukki. Laatuluokitusta voidaan vielä tarkentaa mahdollisten erityisvaatimusten mukaan. Kuusella ei juurikaan ole vastaavaa laatuluokitusta käytössä, vaan katkonta perustuu enemmän tavoiteltuihin läpimittoihin ja pituuksiin. Kuusen laatuominaisuudet vaihtelevat vain vähän rungon pituussuunnassa verrattuna mäntyyn, ja tukin järeys vaikuttaa enemmän sen jalostusarvoon. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 45–46)

Kuva 7: Mäntyrungon laatuluokitus (kuva: Metsä Fibre, 2025)

Pitkien ja hyvälaatuisten kuusirunkojen tukkijakauman ohjauksessa on paljon vaihtoehtoja, kun taas pienirunkoisissa tai huonolaatuisissa leimikoissa sekä mäntyrungoissa mahdollisuudet ovat rajallisemmat. Erityisesti oksattoman tyvitukin tarkka hyödyntäminen ja terveoksaisen latvatukin erottelu rajoittavat ohjauksen mahdollisuuksia. (Vuorenpää & Aaltonen & Imponen & Lukkarinen, 1997, 8) Tukkien laatukriteerit pyritään määrittämään sahattavan sydäntavaran käyttötarkoituksen perusteella. Tämä heijastuu myös tukkien katkontaan, jossa tavoitteena on erotella rungosta halutut laatuosat ja säilyttää mahdollisimman yhtenäinen laatu koko tukin pituudelta pituus- ja läpimittavaatimuksien rajoissa. (Lukkarinen, Keskinen & Pennanen, 1998, 5)

Lopputuotteen ominaisuudet ovat aina olemassa jo tukissa. Halutut tuotteet voidaan valmistaa vain oikeankokoisista ja laadultaan tuotevaatimukset täyttävistä tukeista. Jalostusarvoon vaikuttavat tekijät vaihtelevat saha- ja yhtiökohtaisesti, koska ne perustuvat muuttuviin tuotevaatimuksiin. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 44–46)

## 3.3 Arvo- ja jakauma-apteeraus

Arvoapteerauksessa hakkuukone pyrkii maksimoimaan yksittäisen rungon apteeraustulosta arvomatriisien ja rungon muodon perusteella (Vuorenpää et al, 1997, 7). Rungon optimaalisen katkontavaihtoehdon määrittämisessä hakkuukoneet hyödyntävät tyypillisesti verkkomallinnukseen ja dynaamisen ohjelmoinnin menetelmiin pohjautuvia algoritmeja (Uusitalo & Kivinen, 2023, 137). Dynaamisen ohjelmoinnin menetelmiä on kehitelty jo 1960-luvulta lähtien, mutta ensimmäisenä yksityiskohtaisena ja julkaistuna dynaamisen ohjelmoinnin käytöstä arvoapteerauksessa pidetään Pnevmaticosin ja Mannin artikkelia vuodelta 1972 (Marshall, 2005, 13). Dynaamista ohjelmointia käytetään ratkaisumenetelmänä optimointiongelmaan, jossa on peräkkäisiä, toisistaan riippuvia vaiheita. Katkonnan optimoinnissa nämä vaiheet vastaavat tukkeja rungon tyvestä latvaan. Jokaisessa vaiheessa arvioidaan eri tukkipituuksien tuottama arvo, ja optimaalinen katkontamalli rakentuu vaiheittain edellisten valintojen perusteella. Mahdollisten katkontavaihtoehtojen määrä voi olla suuri, mikä tekee laskennasta raskasta. Näsberg (1985) esitteli väitöskirjassaan dynaamista ohjelmointia ja verkko-ohjelmointia yhdistävän optimointimenetelmän, jossa etsitään pisin eli arvokkain reitti tyvestä latvaan. (Kivinen, 2007, 11–13) Näin optimaalinen ratkaisu voidaan löytää ilman, että laskenta hidastaa rungon käsittelyä (Uusitalo & Kivinen, 2023, 137).

Puhdas arvoapteeraus saattaa johtaa merkittävään eroon haluttujen ja todellisten jakaumien välillä, eikä sahan kannalta optimaalista tukkijakaumaa saavuteta (Kivinen, 2007, 18). Jakauma-apteerausta käytetään tukkipuutavaralajien pituuksien ja läpimittojen tarkempaan ohjaukseen (Räsänen & Pajuoja, 2017, 51). Myös jakauma-apteerauksessa pyritään ottamaan tukkiosuus talteen, mutta arvomatriisin lisäksi otetaan huomioon tuotantolaitoksen tavoitejakaumamatriisi sekä toteutuneet pölkkyjakaumat (Vuorenpää & Arminen & Suuriniemi, 1999, 6). Jakauma-apteeraus voidaan toteuttaa joko adaptiivisella hintalistalla tai lähioptimaalimenetelmällä. Molemmissa tapauksissa hakkuukoneen katkonta-automatiikalle määritellään rajat suurimmasta sallitusta poikkeamasta arvomatriisiin nähden joko suurimpana arvon muutoksena arvomatriisin alkuperäiseen arvoon (adaptiivinen hintalista) tai rungon maksimiarvoon (lähioptimaali). (von Essen & Möller, 1997, 5)

Adaptiivista hintalistaa käytettäessä arvomatriisia säädetään katkonnan aikana tavoitejakauman saavuttamiseksi sen mukaan, miten kaukana asetetusta tavoitteesta kukin pölkkyluokka on. Pölkkyluokan arvoa nostetaan, jos siihen on kertynyt pölkkyjä tavoitteeseen nähden liian vähän ja vastaavasti arvoa alennetaan, jos pölkkyjä on kertynyt liikaa. Lähioptimaalimenetelmässä rungolle valitaan pölkytysyhdistelmä, joka täyttää jakaumatavoitetta parhaiten poiketen enimmillään ennalta määritetyn arvonalennuksen verran optimipölkytyksestä, esimerkiksi 5 %. (Ahonen & Lemmetty, 1995, 3) Uusitalon & Kivisen (2023, 136) mukaan lähioptimaalimenetelmä on näistä kahdesta jakaumanohjauskeinosta yleisempi. Menetelmät eivät eroa merkittävästi jakaumatavoitteiden saavuttamisessa, mutta lähioptimaalimenetelmä on joustavampi ja sen avulla haluttu tukkijakauma voidaan saavuttaa nopeammin (von Essen & Möller, 1997, 25).

## 3.4 Runkokäyrän ennustaminen ja hakkuukonemittaus

Puun rungon muodon eli runkokäyrän tarkka ennustaminen on keskeinen edellytys apteerauksen ohjauksen toimivuudelle. Mikäli ennustemalli ei ole luotettava, myöskään arvoapteeraus- ja jakaumaohjausmenetelmät eivät voi toimia optimaalisesti, koska tällöin ne perustuvat virheelliseen tai puutteelliseen lähtötietoon. (Lukkarinen & Marjomaa, 1997, 5) Luotettavin tapa määrittää runkokäyrä olisi mitata koko runko hakkuulaitteella ennen sen käsittelyä. Rungon syöttäminen hakkuulaitteen läpi ja takaisin peruuttaminen kuitenkin lisäisi rungon käsittelyvaurioita sekä pudottaisi hakkuutyön tuottavuutta, joten runkoprofiili

yleensä ennustetaan. (Kivinen, 2007, 8) Mittalaite muodostaa alustavan ennusteen rungon kapenemisprofiilista rungon tyviosasta mitattujen, noin 3–4 metrin matkalle sijoittuvien läpimittatietojen perusteella. Tämän ennusteen pohjalta laaditaan ensimmäinen katkontaehdotus. Katkontaehdotusta tarkennetaan käsittelyn edetessä, kun uudet mittaustiedot mahdollistavat ennusteen päivittämisen. (Lukkarinen & Marjomaa, 1997, 5) Ennustamisessa hyödynnetään käsiteltävän rungon alkuosasta saatua mittausdataa sekä saman puulajin aiemmista hakkuista kerättyä runkopankkidataa. Menetelmää kutsutaan sekamallitekniikaksi, jossa yhdistyvät yksittäisen rungon reaaliaikaiset mittaukset ja historiallinen vertailuaineisto. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 132) Tämä mahdollistaa rungon katkomisen perustuen vain osittaiseen tietoon rungon muodosta (Marshall, 2005, 29).

Runkoprofiilinen ennustamisen edellytyksenä on hakkuukonemittauksen hyvä tarkkuus (Metsäteho, 2005, 71). Hakkuukoneen mittalaitteella on keskeinen rooli kaupallisen tilavuuden mittauksen lisäksi myös rungon katkonnassa (Hokka & Imponen, 2002). Hakkuukoneen mittausjärjestelmä tallentaa rungon läpimitta- ja pituustietoja jatkuvasti karsinnan aikana. Pituus mitataan hakkuupään alaosassa olevalla mittarullalla, joka pyörii rungon liikkuessa hakkuupään läpi (Uusitalo & Kivinen, 2023, 127). Läpimittamittaukset suoritetaan tyypillisesti yhden senttimetrin välein rungon pituussuunnassa. Mittaus perustuu rungon pinnan mekaaniseen tunnusteluun, joka toteutetaan joko hakkuupään karsintaterien tai syöttörullien avulla. (Lindblad & Kilpeläinen & Heikkinen, 2018, 2). Mittausvirheiden ja rungon pinnan epätasaisuuksien vuoksi hakkuukoneet eivät muodosta runkokäyrää suoraan mitatuista läpimitta-arvoista, vaan data esikäsitellään suodattamalla ennen käyrän mallintamista (Uusitalo & Kivinen, 2023, 129). Tyviosan läpimittojen mittaaminen kaatosahauksesta lähtien ei ole mahdollista hakkuupään mittausperiaatteen vuoksi (Lindblad et al, 2018, 2). Tyviosan läpimitat määritetään laskennallisesti puulajikohtaisia tyvifunktioita soveltaen. Tyviosalla tarkoitetaan kaatoleikkauksesta alkavaa 1,3 metrin pituista rungonosaa. (Luonnonvarakeskus, 2015) Rungon käyttöosan runkokäyrä muodostuu yhdistämällä hakkuukoneen mittausjärjestelmän tuottamat läpimittatiedot (mittauskohdasta 1,3 metrin korkeudelta alkaen) ja tyviprofiilifunktion avulla laskennallisesti estimoidut läpimitat rungon tyviosalta (0–1,3 m kaatoleikkauksesta mitattuna) (Lindblad et al, 2018, 2).

## 3.5 Hakkuukoneen katkonnanohjausjärjestelmä ja tiedonsiirto

Hakkuukonemittaus muodostaa perustan yksittäisten tukkien apteeraukselle. Samalla puutavaralajien pituus-läpimittajakaumia ohjataan tuotantolaitosten määrittelemien tavoitteiden mukaisesti. Hakkuukone on yhteydessä ulkopuolisiin korjuun ohjausjärjestelmiin mittalaitejärjestelmän kautta. (Uusitalo & Kivinen, 2023, 130) Runkojen katkontaa ohjataan puutavaralajikohtaisten taulukoiden ja asetusten avulla. Matriisit tallennetaan hakkuukoneen mittausjärjestelmään yhdessä muiden katkontaa ohjaavien asetusten, kuten rungonosan laadun katkontaehtojen ja kiellettyjen mittojen, kanssa. (Räsänen & Pajuoja, 2017, 51)

Arvomatriisi eli hintamatriisi on kaksiulotteinen taulukko, joka määrittää tietyn pituisen ja läpimittaisen pölkyn arvon suhteessa muihin saman puutavaralajin pölkkyjen pituus-läpimitta-yhdistelmiin (Kivinen, 2004, 697). Kuvassa 8 on esimerkki mäntytukin arvomatriisista.

Arvotaulukko

| Lpm/Pit | 372 | 428 | 458 | 488 | 518 | 548 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 0 | 231 | 231 | 231 | 231 | 231 |
| 170 | 154 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 180 | 1 | 198 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 190 | 1 | 198 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 200 | 0 | 198 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 210 | 0 | 198 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 220 | 0 | 198 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 230 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 240 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 250 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 260 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 270 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 280 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 290 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 300 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 310 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 320 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 340 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |

Arvotaulukko Määrärajataulukko

Kuva 8: Esimerkki arvomatriisista (kuva: Metsä Forest, 2024)

Arvomatriisien hintoina käytetään suhteellisia arvoja, eivätkä ne vastaa todellisia puun hintoja (Uusitalo & Kivinen, 2023, 131). Jakaumamatriisi puolestaan kertoo, kuinka suuri osuus pölkyistä tulisi olla kutakin pituuden ja läpimitan yhdistelmää (Kivinen, 2004, 697). Kuvassa 9 on esimerkki jakaumamatriisista ja siinä on merkitty punaisella kielletyt mitat, siniset ovat käsiajomittoja ja keltaiset apumittoja.

Jakaumataulukko

| Arvon muut. % | Lpm/Pit | 372 | 428 | 458 | 488 | 518 | 548 | | | | | Yht. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 160 | -1 | 5 | 5 | 51 | 25 | 14 | | | | | 100 |
| | 170 | -5 | 5 | 5 | 50 | 30 | 10 | | | | | 100 |
| | 180 | -3 | -4 | 10 | 50 | 25 | 15 | | | | | 100 |
| | 190 | -3 | -4 | 5 | 50 | 30 | 15 | | | | | 100 |
| | 200 | -1 | -4 | 5 | 45 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 210 | -1 | -4 | 20 | 30 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 220 | -1 | -4 | 20 | 30 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 230 | -1 | 5 | 5 | 35 | 40 | 15 | | | | | 100 |
| | 240 | -1 | 5 | 10 | 30 | 40 | 15 | | | | | 100 |
| | 250 | -1 | 5 | 10 | 25 | 40 | 20 | | | | | 100 |
| | 260 | -1 | 5 | 10 | 25 | 40 | 20 | | | | | 100 |
| | 270 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 280 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 290 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 300 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 310 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 320 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |
| | 340 | -1 | 5 | 10 | 35 | 35 | 15 | | | | | 100 |

Kuva 9: Esimerkki jakaumamatriisista (kuva: Metsä Forest, 2024)

Apumittojen katkonta voi olla sallittua esimerkiksi laadullisista syistä tai muissa poikkeustilanteissa. Apumitoille ei ole määritetty tavoitetta jakaumamatriisissa ja niiden katkonta ei yleensä ole toivottua sahan toimitusvaatimusten kannalta. Käsiajomitta tarkoittaa mittaa, jonka hakkuukoneen kuljettaja tekee manuaalisesti, ei hakkuukoneen automaattisen katkontalogiikan mukaisesti. Määrärajataulukkoa käytetään silloin, kun on tarve asettaa maksimikertymä tietyille läpimitta- ja pituusluokille. (Puuhuolto.fi, 2022)

Metsäkoneiden tiedonsiirrossa käytetään konevalmistajien ja metsäyhtiöiden sekä muiden käyttäjien yhteisesti sopimaa StanForD (Standard for Forestry Data and Communication) -standardia. Kaikki suuret metsäkonevalmistajat, jotka käyttävät tavaralajimenetelmää, hyödyntävät tätä maailmanlaajuista metsäsektorin standardia hallitakseen metsäkoneisiin tulevia ja sieltä lähteviä tietoja. StanForD on ollut käytössä jo 1980-luvun lopusta lähtien ja uusi XML-pohjainen StanForD 2010 -standardi otettiin käyttöön 2011. (StanForD2010, 2021)

StanForD2010-standardin mukainen PIN-sanoma (product instructions) sisältää katkontaan liittyvät puutavaralajikohtaiset ohjeet, kuten pituus- ja läpimittaluokat sekä hinta- ja jakaumamatriisit. Hakkuukone muodostaa hakattujen runkojen mittauksesta ja katkontatuloksesta Hpr-sanoman (harvested production), johon tallentuvat katkottujen pölkkyjen puutavaralaji, pituus, tyvi- ja läpimittaluokka sekä tilavuus. (Uusitalo & Kivinen. 2023, 126)

## 3.6 Hakkuukoneen kuljettajan vaikutus

Huolimatta nykyaikaisten hakkuukoneiden kehittyneestä teknologiasta ja automaatiosta, koneenkuljettajalla on edelleen keskeinen rooli hakkuuprosessin ohjauksessa ja päätöksenteossa (Marshall 2005, 39). Jos rungossa ei ole merkittäviä laatueroja, katkonta voidaan toteuttaa lähes täysin automaattisesti. Tällöin optimointijärjestelmä määrittää katkaisukohdat, ja kuljettaja muuttaa niitä vain satunnaisesti. Monissa tapauksissa katkonta tehdään kuitenkin käsin. (Uusitalo et al., 2004, 292)

Kuusitukkien katkonnassa suositellaan hakkuukoneen automaattisten katkontaehdotusten hyödyntämistä mahdollisimman laajasti, sillä niiden avulla pyritään maksimoimaan katkonnan lopputulos jo korjuukohteessa. Manuaalista katkontaa käytetään kuitenkin rungon vaurioiden tai vikojen, kuten tyvilahon tai käyryyden, yhteydessä. Kuten jo aiemmin todettu, kuusen rungon laatu vaihtelee vain vähän. Mänty sen sijaan jaetaan kolmeen laatuvyöhykkeeseen, ja sen sahatavaran arvo riippuu voimakkaasti rungon laadusta. Tämän vuoksi mäntytukkien katkonnassa korostuu manuaalinen, laatuun perustuva katkonta. (Kärhä, Änäkkälä, Hakonen, Palander, Sorsa, Räsänen & Moilanen, 2017)

## 3.7 Leimikon puuston ennakkotiedon merkitys katkonnan optimoinnissa

Katkonnan optimointi edellyttää tarkkaa ennakkotietoa leimikon puustosta, sillä se mahdollistaa hakkuukoneiden ohjaustiedostojen suunnittelun ja katkonnan simuloinnin ennen varsinaista korjuuta. Ennakkotiedon avulla voidaan arvioida, miten puusto jakautuu eri puutavaralajeihin ja kuinka hyvin se vastaa tuotantolaitosten mitta- ja laatuvaatimuksia.

Puustotietoennusteita voidaan muodostaa eri tarkkuustasoilla ja käyttötarkoituksilla. Yksinkertaisimmillaan ennuste voi sisältää puulajikohtaiset runkolukusarjat ja pituuskäyrät, jotka soveltuvat tilavuusarviointiin leimikon ostovaiheessa. Tarkempaa katkonnan suunnittelua varten voidaan muodostaa yksittäisten puiden joukko, joka voidaan apteerata simulaattorilla. Lisäksi puutavaralajien pölkkyjakaumia voidaan ennustaa erilaisilla arvo- tai jakauma-apteerauksen säätöarvoilla. (Räsänen & Imponen & Lindroos & Malinen & Sorsa, 2000, 24)

Simuloinnin avulla voidaan vertailla eri katkontavaihtoehtoja ja arvioida, miten hyvin leimikko soveltuu tuotantolaitosten toimitustavoitteisiin. Ennakkotiedon laatu vaikuttaa

suoraan katkonnan onnistumiseen. Puutteellinen tieto voi johtaa siihen, että etukäteen määritetty ohjaustiedosto ei sovellu leimikkoon, jolloin sitä joudutaan muokkaamaan hakkuun aikana. (Räsänen & Lukkarinen 1998, 11)

Apteeraussimulaattorien käytön haaste on puuston laadun huomioiminen. Runkojen laatu vaikuttaa merkittävästi katkonnan lopputulokseen, mutta sen sisällyttäminen simulointiin on vaikeaa, mikä voi johtaa liian optimistisiin simulointituloksiin. Laatuun liittyviä tekijöitä, kuten oksarajatietoja tai operaattorin tekemiä pakkokatkaisukohtia, voidaan käyttää tarkastelussa, mutta molemmilla menetelmillä on rajoitteensa. Oksarajatieto edustaa vain yhtä katkontaan vaikuttavaa tekijää, eikä pakkokatkaisuja noudattava menetelmä huomioi puutavaralajien tai tuotantolaitosten mitta- ja laatuvaatimuksia. (Piira et al, 2007, 21)

Vaikka ennustetut ja todelliset runkotiedot vastaisivat toisiaan täydellisesti, lopullinen tukin jakauma voi silti poiketa sahojen kysynnästä. Tämä johtuu mittaus- ja ennustevirheistä sekä runkojen vioista, jotka pakottavat hakkuukoneen tekemään epäoptimaalisia katkospäätöksiä. (Kivinen, 2007, 59)

## 3.8 Tavoitematriisi

Sahateollisuuden markkinointi on siirtynyt tuotantokeskeisestä ajattelusta kohti kysyntälähtöisyyttä, jossa asiakkaiden tarpeet otetaan huomioon. Täydellinen asiakaslähtöisyys eli pelkästään asiakkaiden toiveiden mukainen tuotanto, on kuitenkin haastavaa alalla, jossa raakaaineen osuus hinnasta on suuri ja prosessi tuottaa väistämättä lankeavia laatuja, pituuksia ja kokoja. Osittainen toteutus on mahdollista, mutta se edellyttää pitkäaikaisia kumppanuuksia ja sitoutumista. (Mikkonen, 2017, 223) Sahateollisuuden tuotanto on tyypillisesti varastoohjautuvaa (make-to-stock), eli se perustuu kysynnän ennusteisiin eikä asiakaskohtaisiin tilauksiin. Tämä tekee kysynnän ja tuotannon yhteensovittamisesta erityisen tärkeää, sillä virhearviot voivat johtaa joko ylivarastointiin tai toimitusvarmuuden heikkenemiseen. Sales and Operations Planning (S&OP) -prosessi tarjoaa sahateollisuudelle keskipitkän aikavälin näkyvyyttä tilanteissa, joissa kapasiteetti on rajallinen ja markkinat kausiluonteisia. (Ben Ali & D'amours & Gaudreault & Carle, 2019)

S&OP-prosessin monitasoinen rakenne tukee eri suunnitteluhorisontteja. Strategisella tasolla keskitytään pitkän aikavälin kapasiteettisuunnitteluun ja investointipäätöksiin.

Operatiivisella tasolla ohjataan päivittäistä tuotantoa ja toimituksia. Sahateollisuuden näkökulmasta keskeisin on taktinen suunnittelutaso, jossa tehdään kuukausi- tai kvartaalitason päätöksiä tuotannon kohdentamisesta, raaka-aineen hankinnasta ja varastotasojen optimoinnista. Ben Ali et al. (2019, 317) korostavat, että juuri tällä tasolla voidaan tehokkaimmin ohjata tuotantoa ja kysyntää yhteen, erityisesti kun asiakaskunta on heterogeeninen ja tuoterakenne hajautunut. Taktinen suunnittelu on tärkeää myös katkonnan optimoinnin näkökulmasta, jotta katkontastrategiat voidaan sovittaa markkinakysyntään.

Kysynnänsuunnittelu on keskeinen S&OP-prosessia. Ennustaminen voidaan jakaa määrällisiin ja laadullisiin menetelmiin. Määrälliset menetelmät perustuvat tilastolliseen analyysiin ja historiadataan, kuten aikasarjamalleihin ja regressioanalyysiin. Laadulliset menetelmät puolestaan hyödyntävät asiantuntija-arvioita ja skenaarioita, tuoden näkemyksiä markkinoiden rakenteesta ja kehityksestä. (Mentzer & Moon, 2004) Ennusteet perustuvat usein toteutuneisiin myynteihin, mikä voi aliarvioida todellista kysyntää silloin, kun sitä on rajoittanut esimerkiksi kapasiteetti, varastot tai toimituskyky. Tämän vuoksi yritysten tulisi pyrkiä arvioimaan rajoittamaton kysyntä (unconstrained demand), joka kuvaa asiakkaiden todellista tarvetta ilman toimitusketjun rajoitteita. (Lapide, 2015)

Tuotantolaitos laatii yhteistyössä puunhankinnan kanssa tavoitematriisin, jossa määritellään määrät ja laadut halutuille tukkimitoille. Vaikka tavoitematriisissa ohjaavana tekijänä on markkinakysyntä, sen sisällössä on huomioitava tuotantolaitoksen rajoitteet ja mahdollisuudet sekä raaka-ainepotentiaali eli millaista puuta on saatavilla varannoissa ja tulossa varantoon sekä tulossa toimitus- tai hankintakaupoista. Koska puuvarantojen tarkka ennustaminen on haastavaa, tavoitematriisin laadinnassa hyödynnetään historiatietoja ja simulointia. (Vuorenpää et al., 1997, 3)

## 3.9 Jakaumaan vaikuttamisen menetelmät

Katkonnanohjauksella pyritään tuottamaan pystyvarannosta mahdollisimman lähelle sahan tavoitematriisia vastaava tukkisuma. Määräsuunnittelu on aina ensisijainen tekijä ja katkonnalla pyritään määrän sisällä parantamaan katkotun suman arvoa. Ohjattaessa puusumaa tuotantolaitoksen tarpeiden mukaiseksi, katkonnan ohjaukseen voidaan vaikuttaa monin keinoin. Tärkeimpänä keinona katkonnan ohjauksessa on muuttaa puunkorjuussa hakkukoneen mittalaitteella käytettävää PIN-tiedostoa. Puutavaralajihinnoittelua käytettäessä muutoksia

voidaan tehdä puukaupan yhteydessä sovittujen mitta- ja laatuvaatimusten puitteissa. Järeysrunkohinnoittelussa voimakkaatkin muutokset ovat mahdollisia, mutta rajoittavana tekijänä on kustannus, joka on huomioitava. Järeysrunkohinnoittelussa esimerkiksi tietyn pituuden korostaminen katkonnassa voi johtaa siihen, että osa tukiksi soveltuvasta rungosta ohjautuu kuitupuuksi, mikä laskennallisesti nostaa ostetun tukin hintaa.

Pystykauppojen ohella on huomioitava myös hankintakaupoista ja toimitussopimuksista saatavat pölkkyjakaumat sekä niiden ajoittuminen tuotantojaksoittain. Näiden toimitusten ohjattavuus on usein pystykauppoja rajoitetumpaa. (Vuorenpää et al, 1997, 3)

Yksi katkonnan ohjauksen keino on tyyppileimikointi, jossa leimikot luokitellaan samankaltaisten ominaisuuksien perusteella. Luokittelussa hyödynnetään leimikkoa ja sen puustoa kuvaavia muuttujia, kuten esimerkiksi maantieteellinen alue, kasvupaikkaluokka, hakkuutapa, puulajisuhteet ja poistuman keskijäreys ja -pituus. Myös sahan tuoteportfolio voi toimia luokitteluperusteena, mikä mahdollistaa katkontaohjelmien optimoinnin tuotantotarpeiden mukaan. (Kärhä & Ronkainen & Rajala & Mutanen & Palander & Räsänen & Sorsa & Moilanen 2015)

Katkonnan optimoinnissa on huomioitava, että yksittäinen sahan tukkiluokka voi sahausasetteiden kautta jakautua useisiin eri lopputuotteisiin. Vastaavasti sama tukkidimensio voi eri hankintalähteistä ja metsäkohteista päätyä eri tukkiluokkiin sahalla. Tämä muodostaa suunnittelun kannalta kriittisen kohdan ja tuo haasteita esimerkiksi katkontaa ohjaavien PIN-tiedostojen muutosten kohdentamiseen. Tukkiluokkien pituusjakaumiin vaikuttaminen, esimerkiksi ohjaamalla voimakkaasti tietyn pituuden määrää tiettyyn luokkaan, voi aiheuttaa ei-toivottuja muutoksia muiden luokkien jakaumiin. Koska kokonaismäärä säilyy vakiona, on selvää, että lisäys yhdessä luokassa vähentää vastaavasti toista. Pyrkimyksenä onkin löytää sahan kannalta mahdollisimman optimaalinen, kokonaisuuden huomioiva ratkaisu.

## 3.10 Katkonnan ohjauksen toimivuuden arviointi

Tavoitejakaumien ja toteutuneiden jakaumien välinen vertailu on olennainen osa katkonnan ohjauksen arviointia. Koska hakkuukoneita ohjataan arvo- ja jakaumamatriiseilla, on tärkeää ymmärtää, miten eri parametriasetukset vaikuttavat katkontatulokseen tietyssä metsäkuviossa tai kuviojoukossa. (Kivinen & Uusitalo, 2002, 674). Lisäksi voidaan arvioida

esimerkiksi eri hakkuukoneiden tai puuntoimittajien kykyä vastata asetettuun tavoitejakaumaan (Kivinen & Uusitalo ja Nummi, 2005, 694). Tavoitejakaumiin ei kaikilla korjuukohteilla aina päästä esimerkiksi puuston laadun vaihtelun vuoksi. Siksi jakaumien toteumaa tarkastellaan yleensä pidemmällä aikavälillä ja useiden korjuukohteiden perusteella. (Puuhuolto.fi, 2022)

Kivinen et al. (2005) esittelevät neljä erilaista mittaria tavoitejakaumien ja toteumien arvioimiseksi: jakauma-aste, $\chi^2$-yhteensopivuustesti, Laspeyresin määräindeksi sekä hintapainotettu jakauma-aste. Kukin mittari tarjoaa oman näkökulmansa jakaumien välisen suhteen analysointiin, painottaen eri tekijöitä kuten määrällisiä poikkeamia, tilastollista merkitsevyyttä tai taloudellista arvoa. Tutkimuksen perusteella mikään yksittäinen mittari ei osoittautunut selvästi ylivertaiseksi, vaan kaikki neljä menetelmää soveltuvat käytettäväksi puunhankinnan arviointiin. Uusitalon & Kivisen (2023, 137) mukaan katkonnanohjauksen toimivuutta jakaumatasolla tarkastellaan Suomessa yleensä jakauma-asteen avulla.

Jakauma-aste kuvaa puutavaralajeittain kaikkien pituus- ja läpimittaluokkien suhteellista toteumaa verrattuna tavoitteisiin (Metsäteho, 2005, 71). Jakauma-aste huomioi sekä tavoitearvon ylitykset että alitukset. Se voidaan esittää matemaattisena kaavana

$$Jakauma - aste = 1 - \frac{\Sigma\,|\text{tavoite} - \text{toteutunut}|}{2}$$

Kaavassa lasketaan itseisarvolausekkeen sisällä kullekin tukkidimensiolle poikkeama sahan määrittämästä tavoitearvosta ja näin voidaan mitata katkonnan onnistumista prosentuaalisesti (Vuorenpää et al. 1997, 8)

Jakauma-aste ja tavoitematriisin toteumaprosentti kuvaavat apteerauksen onnistumista eri näkökulmista. Jakauma-aste mittaa, kuinka hyvin hakkuukoneen katkomat pölkyt vastaavat läpimittaluokkien jakaumatavoitetta. Tavoitematriisin toteumaprosentti puolestaan tarkastelee toteumaa tuotantolaitoksen ohjaustavoitteiden näkökulmasta ja arvioi läpimittaluokkien sisällä pituuksittain, kuinka hyvin pölkyt vastaavat solukohtaisia tarpeita. Näin ollen jakauma-aste liittyy enemmän hakkuukoneen operatiiviseen onnistumiseen, kun taas tavoitematriisin toteuma kuvaa raaka-aineen soveltuvuutta tuotannon ja markkinakysynnän kannalta.

# 4 Tutkimusasetelma

## 4.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja on Metsä Groupiin kuuluvan Metsä Fibre Oy:n sahaliiketoiminta. Metsä Fibre kuuluu suomalaiseen metsäteollisuuskonserni Metsä Groupiin ja tuottaa puupohjaisia biotuotteita, kuten sellua, sahatavaraa, biokemikaaleja ja bioenergiaa. Metsä Fibrellä on neljä biotuote-/sellutehdasta ja neljä sahaa Suomessa. Sahojen tuotantokapasiteetti on yhteensä noin 2 miljoonaa kuutiota. Rengon ja Vilppulan sahoilla raaka-aineena on kuusi ja Lappeenrannan ja Rauman sahoilla mänty.

Metsä Forest vastaa Metsä Groupin puunhankinnasta ja metsäpalveluista. Liiketoiminta-alue on sataprosenttisesti Metsäliitto Osuuskunnan omistuksessa. Metsä Groupin emoyhtiö Metsäliitto Osuuskunta on nimensä mukaisesti yli 90 000 suomalaisen metsänomistajan omistama osuuskunta. Metsä Groupin perustehtävä on omistajajäsenten metsien ja niihin perustuvan varallisuuden arvon kasvattaminen. Noin puolet Suomen yksityismetsistä, eli noin 5,5 miljoonaa hehtaaria, on Metsäliitto Osuuskunnan omistajajäsenten omistuksessa.

Puunhankintaorganisaatio hankkii kaiken Metsä Groupin käyttämän puun ja toimittaa sitä myös muille teollisuuden asiakkaille. Vuosittain tehdään noin 30 000 puukauppaa, joista valtaosa kohdistuu omistajajäsenten metsiin. Puuta ostetaan valtakunnallisesti, joten vaihtelut puustossa ja olosuhteissa ovat suuret. Toisaalta puuvirta on tasainen ja toiminta pitkäjänteistä.

Metsä Group on käyttänyt järeysrunkohinnoittelua harvennuskaupoissa vuodesta 2021 lähtien. Vuonna 2024 järeysrunkohinta otettiin käyttöön lisäksi uudistushakkuilla. Metsä Group ostaa harvennuksia ja uudistushakkuita koko maassa sekä järeysrunkohinnalla että perinteisellä puutavaralajihinnoittelulla. (Metsä Group, 2025)

## 4.2 Tutkimuksen tiedonhankinta, toteutus ja aineisto

Tutkimuksen tiedonhankinta perustuu yrityksen sisäisiin tietojärjestelmiin sekä asiantuntijatietoon. Koska tekijällä ei ollut aiempaa kokemusta puunhankinnan katkonnanohjauksesta, työn tueksi muodostettiin viiden hengen asiantuntijaryhmä, johon kuuluivat työn ohjaaja, puulajikohtaiset S&OP-päälliköt, datan ja analytiikan kehityspäällikkö sekä apteerausasiantuntija. Työryhmä kokoontui työn aikana useaan otteeseen Teamsin kautta. Alkumäärittelyvaiheessa päätettiin analyysin pohjaksi valittavat tukkisumat. Työn edetessä ja tulosten valmistuessa niitä käytiin yhdessä läpi, mikä tuki tekijän ymmärryksen syventymistä ja tulosten tulkintaa. Asiantuntijoiden näkemykset täydensivät tietojärjestelmistä saatua aineistoa ja vahvistivat tulosten luotettavuutta. Samalla varmistuttiin, että työ eteni yrityksen tavoitteiden mukaisesti ja tuotti sille konkreettista hyötyä. Tulokset myös saatiin heti käyttöön yrityksen omia sisäisiä tarkasteluja varten.

Tutkimuksessa käytetään kahta aineistokokonaisuutta. Ensimmäinen koostuu optimointisovelluksen tuottamista kuudesta skenaariosta, joissa tarkastellaan eri tukkisumia. Tiedot eri tukkisumista on haettu Metsä Forestin KAOS-järjestelmistä (Katkonnan ohjaus ja simulointi) ja analysoitu Metsä Fibren kehittämällä sovelluksella, joka hyödyntää lineaarista monimuuttujaoptimointia. Optimointia varten sovellukseen syötetään tukkitietojen lisäksi tuotanto- ja kysyntätiedot yrityksen järjestelmästä. Sovellus käy läpi kaikki mahdolliset tuotanto- ja myyntivaihtoehdot ja valitsee niiden joukosta tuottoisimman ratkaisun. Sovelluksen taustalla on tekoälyä hyödyntävä laskentamalli, joka huomioi sahausasetteiden kannattavuuden. Sahausasetteiden kannattavuus lasketaan vähentämällä raaka-ainekatteesta sahauksen, kuivauksen, paketoinnin kulut sekä yleiskulut. Raaka-ainekatelaskennassa huomioidaan sydäntavaran ja sivulaudan keskimääräiset nettotehdashinnat ja sivutuotteiden keskihinnat, saanto ja tukin hinta. Optimointisovelluksen tuottamat luvut on käsitelty Excel-taulukkolaskentaohjelmistolla.

Toinen osa aineistosta liittyy tavoitematriisin toteutumaan vuoden 2025 toisella ja kolmannella vuosineljänneksellä. Tavoitematriisissa määritellään sahakohtaisesti halutut tukkiluokkakohtaiset määrät pituuksittain. Toteumaluvut perustuvat vastaanotettuihin tukkiluokkakohtaisiin määriin pituuksittain ja ne on kerätty yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä. Laskelmat tehdään Excelissä, jossa jokaiselle tukkiluokalle lasketaan poikkeama toteutuneiden ja tavoiteltujen osuuksien välillä. Poikkeama lasketaan absoluuttisena erona

(itseisarvona) jokaiselle pituudelle. Mitä lähempänä nollaa tulos on, sitä lähempänä tavoitetta ollaan. Koska eri tukkiluokkien volyymit vaihtelevat, poikkeamat painotetaan toteutuneiden kuutiomäärien mukaan ja saadaan painotettu osumatarkkuus koko tavoitematriisille ja lopputulos esitetään prosentteina.

Tutkimuksen tulokset sisältävät liiketoimintasalaisuuden alaista tietoa, minkä vuoksi niitä ei voida esittää sellaisenaan. Tulokset esitetään työssä prosentuaalisina osuuksina, ei absoluuttisina lukuina.

Taulukossa 1 on esitetty eri tukkisumista muodostettujen skenaarioiden kuvaukset, selitykset sekä tässä työssä myöhemmin käytettävät lyhenteet.

Taulukko 1: Tutkimuksen skenaariot

| **Skenaarion lyhenne** | **Kuvaus** | **Selite** |
|---|---|---|
| S1 - Toteutunut Q3/24 | Toteutunut tukkijakauma Q3/2024 | Koko tukkisuma, ns. lähtötaso |
| S2 - JRH Q3/24 | Järeysrunkohintakaupat Q3/2024 | Pelkät runkohinnoittelukaupat skaalattuna samaan määrään. Teoreettinen. |
| S3 - Ennuste Q3/25 | Tukkiennuste Q3/2025 | Koko tukkisuma. Tehty 2/2025 |
| S4 - Päivitetty ennuste Q3/25 | Uuden tavoitematriisin pohjalta päivitetty tukkiennuste Q3/2025 | Koko tukkisuma. Tehty 6/2025 |
| S5 - Toteutunut Q3/25 | Toteutunut tukkijakauma Q3/2025 | Koko tukkisuma |
| S6 - JRH Q3/25 | Järeysrunkohintakaupat Q3/2025 | Pelkät runkohinnoittelukaupat skaalattuna samaan määrään. Teoreettinen. |

Skenaariossa S1 on koko tukkisuman toteutuma kolmannella vuosineljänneksellä 2024. Tämä skenaario S1 toimii lähtötasona, ja muita skenaarioita verrataan siihen. Skenaario S5 esittää toteutuneen tukkijakauman kolmannella vuosineljänneksellä 2025. Nämä ovat tutkimuksen kannalta merkittävimmät skenaariot.

Ennusteskenaariot S3 ja S4 ovat tärkeitä suunnittelun näkökulmasta, koska tuotannon ja myynnin suunnittelu perustuu näihin ennusteisiin. Skenaario S3 edustaa alkuvuonna laadittua ennustetta, kun taas S4 on päivitetty kesäkuussa 2025 uuden tavoitematriisin pohjalta.

Skenaariot S2 ja S6 ovat teoreettisia, ja niihin on otettu pelkästään järeysrunkohinnoittelulla tehdyt pystykaupat, skaalattuna vastaamaan koko tukkisumaa kyseisellä ajanjaksolla. Skenaariossa S2 järeysrunkohintakauppojen osuus on noin 10–15 % koko tukkisumasta ja skenaariossa S6 noin 10 %.

Skenaarioiden avulla arvioidaan uuden toimintatavan vaikutusta sahaliiketoiminnan kannattavuuteen, kun taas tavoitematriisin toteumaluvut vastaavat kysymykseen, onko toiminnalla päästy lähemmäs tavoitematriisia.

Analysoitavat tukkisumat on otettu kahdelta sahalta, joista toinen sahaa mäntyä ja toinen kuusta. Kahden puulajin mukanaolo parantaa tutkimuksen kattavuutta ja tulosten yleistettävyyttä, sillä männyn ja kuusen välillä on merkittäviä eroja sekä raaka-aineen ominaisuuksissa että sahatavaran laatu- ja arvojakautumassa. Mänty- ja kuusisahatavara eroavat myös käyttökohteiltaan ja markkina-alueiltaan, minkä vuoksi molempien tarkastelu mahdollistaa luotettavamman arvion sahaliiketoiminnan kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi kuusella korostuu erityisesti sahatavaran pituusjakauman merkitys, kun taas männyssä laatujakaumat ovat keskeisemmässä roolissa.

Eri skenaarioiden tukkisumat on skaalattu vertailukelpoisiksi ja muunnettu sahan tukkiluokkiin optimointisovellusta varten. Aineistossa on mukana myös kahden muun sahan tukkisumat muuttumattomilla arvoilla, jotta kokonaiskysyntä saadaan huomioitua. Kaikissa skenaarioissa käytetään samoja vuoden 2025 kolmannen kvartaalin ennustettuja kysyntä- ja tuotantotietoja. Tukkisumat on otettu samalta ajankohdalta, kolmannelta vuosineljännekseltä, jotta vuodenaikavaihtelun vaikutus tutkimustuloksiin saataisiin minimoitua.

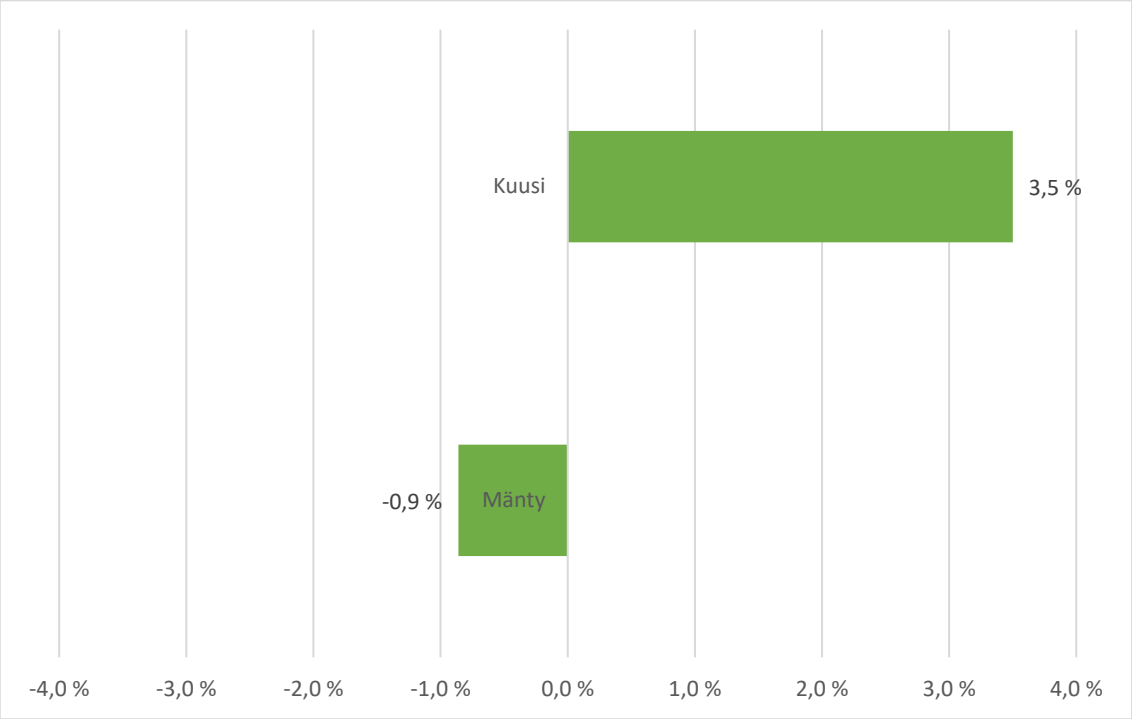
Tavoitematriisin toteuma ja optimointiskenaariot ovat relevantteja mittareita liiketoiminnallisten hyötyjen arviointiin. Tutkimuksen validiteetti perustuu siihen, että matriisin osumatarkkuus kuvaa suoraan tavoitematriisin toimintaa ja optimointiskenaarioiden tulokset liiketoiminnallisia vaikutuksia. Skenaarioiden laskentamalli (lineaarinen monimuuttujaoptimointi) perustuu tukkisumadatan lisäksi yrityksen todellisiin tuotanto- ja kysyntätietoihin. Tulosten luotettavuutta on tarkasteltu asiantuntujaryhmän kesken ja lukujen on todettu olevan johdonmukaisia. Tutkimus koskee yhtä yritystä, joten tuloksia ei voi yleistää koko sahateollisuuteen, mutta ne ovat käyttökelpoisia yrityksen sisäiseen kehittämiseen.

# 5 Tulokset

## 5.1 Tavoitematriisi

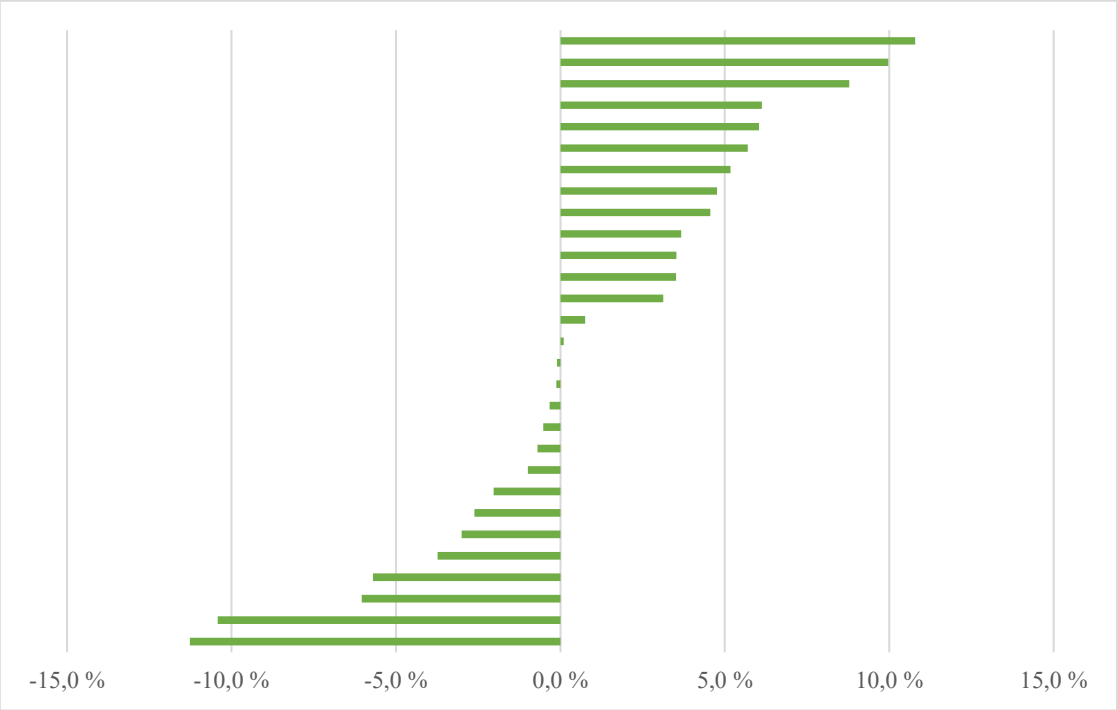
Kolmannelle vuosineljännekselle otettiin käyttöön uusi tavoitteellisempi tavoitematriisi, jossa määritellään sahakohtaisesti halutut tukkiluokkakohtaiset määrät pituuksittain. Tavoitematriisin ohjausvaikutusta arvioitiin vertaamalla kolmannen kvartaalin toteumaa toisen kvartaalin toteumaan. Koska uusi tavoitematriisi ei ollut toisella kvartaalilla käytössä, vertailu on teoreettinen, mutta havainnollistaa sen vaikutusta konkreettisesti.

Tulokset osoittavat, että männyn osalta kokonaisuuden muutos oli vähäinen ja kolmannen kvartaalin osumatarkkuus jäi vajaan prosenttiyksikön verran heikommaksi kuin toisella kvartaalilla. Kuusen kohdalla sen sijaan havaittiin selkeä parannus, sillä matriisin osumatarkkuus kasvoi 3,5 prosenttiyksikköä. Tämä tarkoittaa, että määriä on kohdistunut aiempaa tarkemmin haluttuihin tukkiluokka- ja pituusyhdistelmiin. Kuvassa 10 esitetään muutos prosenttiyksiköinä molempien puulajien osalta.




Kuva 10: Tavoitematriisin osumatarkkuuden muutos vertailujaksolla Q2–Q3 prosenttiyksiköinä

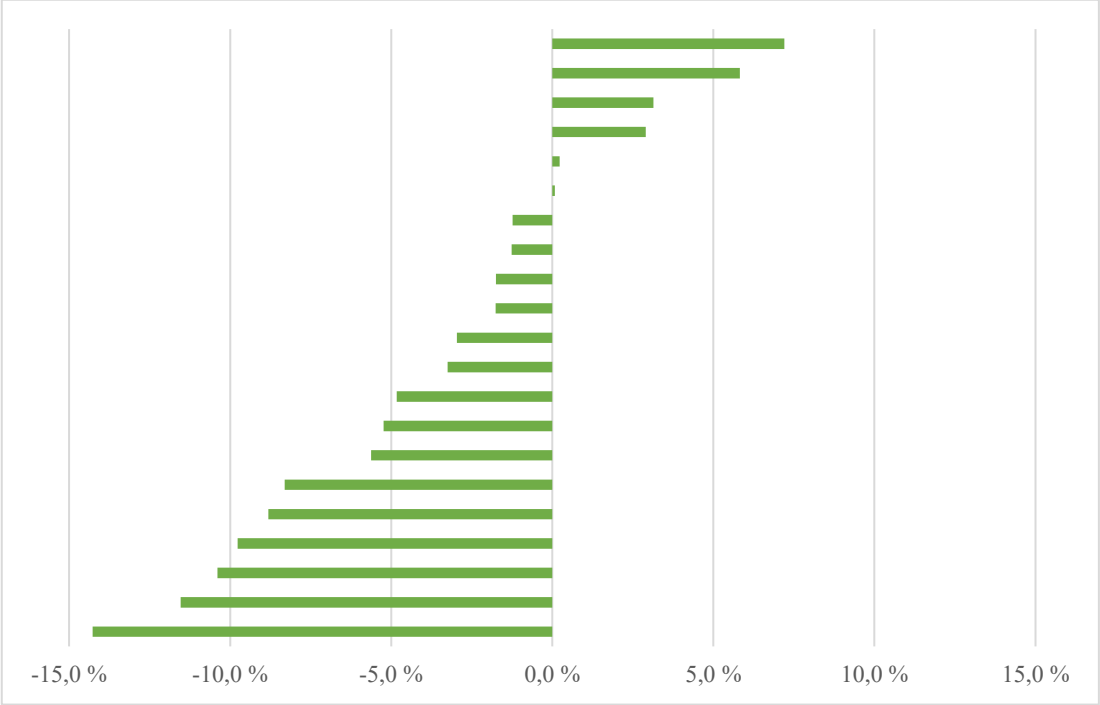
Tukkiluokkakohtainen tarkastelu kertoo muutoksen tarkemmalla tasolla. Kuvassa 11 esitetään männyn tukkiluokkakohtaisten poikkeamien muutos prosenttiyksiköinä vertaamalla kolmannen kvartaalin toteumaa toisen kvartaalin toteumaan.




Kuva 11: Männyn tukkiluokkakohtaisten poikkeamien muutos Q2–Q3 tavoitematriisissa prosenttiyksiköinä

Tässä tukkiluokkakohtaisessa tarkastelussa poikkeaman pieneneminen tarkoittaa parempaa osumatarkkuutta pituuksiin, sillä poikkeama lasketaan itseisarvona pituuksien tavoitemäärien ja toteutuneiden määrien välillä. Männyn tarkastelussa on 29 tukkiluokkaa ja 14 osalta osumatarkkuus parani ja 15 luokan osalta heikkeni. Männyn kohdalla pituusoptimointi on vaikeaa, sillä tukit jakautuvat tyven ja latvan lisäksi useisiin luokkiin. Tämä tekee optimoinnista haastavampaa ja aiheuttaa samanaikaisia vaikutuksia moniin tukkiluokkiin. Männyn toteumasta tämä hajaantuminen käy selkeästi ilmi, sillä vaihtelua on melko tasaisesti molempiin suuntiin.

Kuvassa 12 esitetään kuusen osalta vastaava tukkiluokkakohtaisten poikkeamien muutos prosenttiyksiköinä vertaamalla kolmannen kvartaalin toteumaa toisen kvartaalin toteumaan.




Kuva 12: Kuusen tukkiluokkakohtaisten poikkeamien muutos Q2–Q3 tavoitematriisissa prosenttiyksiköinä

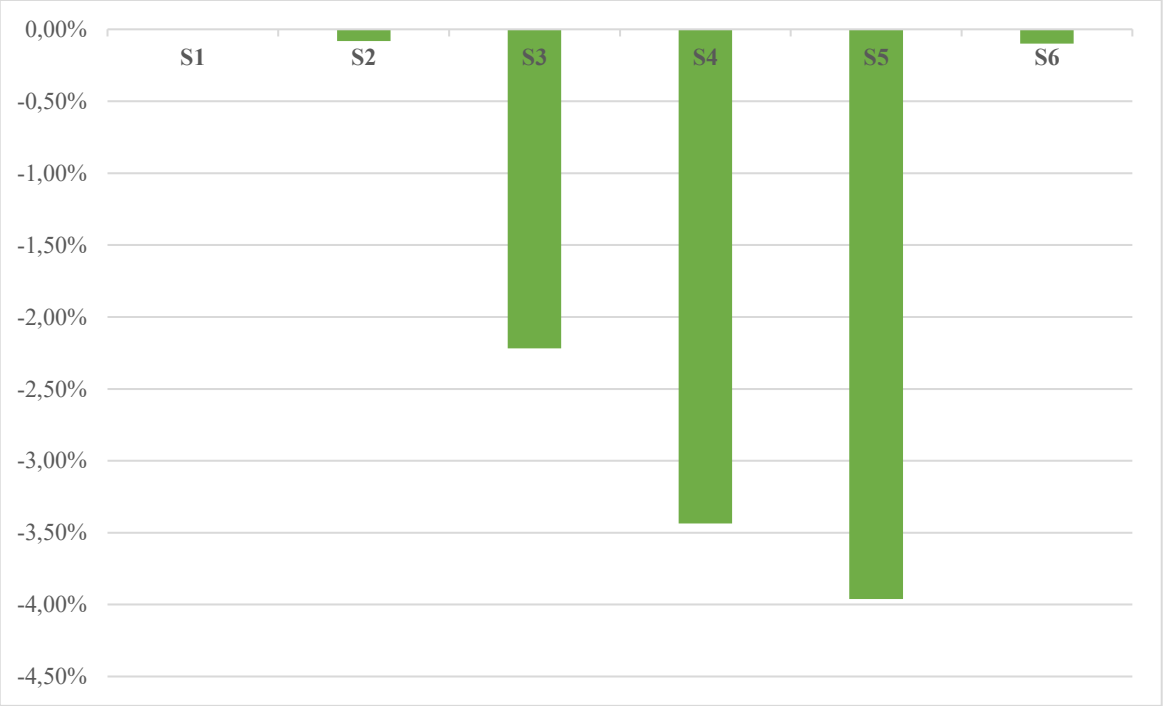
Kuusen tarkastelu kattoi yhteensä 21 tukkiluokkaa. Näistä 15 luokassa osumatarkkuus parani, ja kuudessa luokassa parannus oli merkittävä, vaihteluvälillä 8–14,3 prosenttiyksikköä. Vain kuudessa luokassa tapahtui osumatarkkuuden heikentymistä verrattuna edelliseen kvartaaliin.

Tavoitematriisissa on haettu tärkeimpien asiakkaiden ja kannattavimpien tukkiluokkien osalta haluttuja pituuksia ja merkittävimmät katkontamuutokset kohdistuivat kuusisahalle. Kuusen katkonnan ohjaaminen on yksinkertaisempaa ja hallittavampaa ja kuuselle saatiin asetettua tavoitematriisin pohjalta selkeät tavoitteet, joihin pyrkiä. Järeysrunkohinnoittelukaupoilla on pystytty hakemaan voimakkaasti haluttuja pituuksia ja onnistuttu ohjaamaan kokonaisuutta oikeaan suuntaan.

## 5.2 Kysynnän rajoitteet

Kysynnän saaminen mukaan täysimääräisesti osoittautui haastavaksi. Kaikissa skenaarioissa osa tuotannosta ohjautui varastoon, koska optimointisovellus ei löytänyt koko tuotantomäärälle kysyntää. Näille tuotteille asetettiin optimoinnissa alempi myyntihinta, jotta arvio

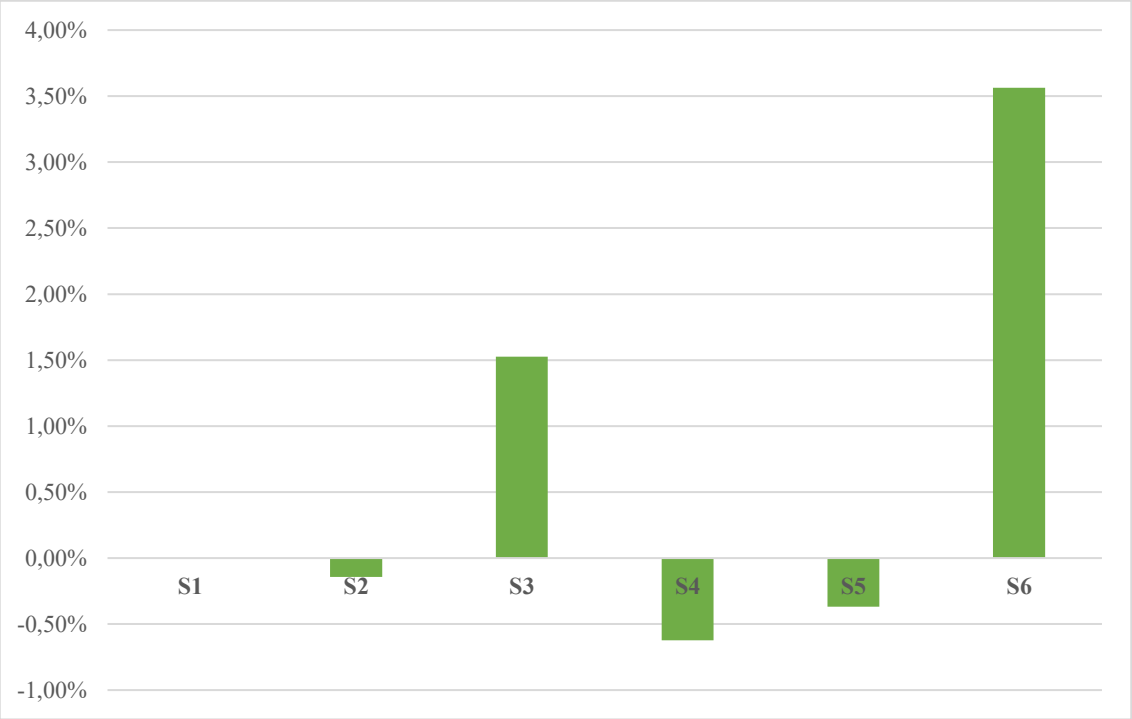
vastaisi todellista tilannetta, jossa ne todennäköisesti myydään matalamman hintatason markkinoille. Varastoon ohjautuvan määrän väheneminen on positiivista, sillä se tarkoittaa vähemmän ”väkisin myytävää” tuotantoa. Kuvassa 13 on esitetty varastoon menevän osuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötasona toimivaan S1 skenaarioon.




Kuva 13: Varastoon menevän määrän prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötasoon

Kokonaisuutena tarkasteltuna varastoon ohjautuva määrä pienenee kaikissa skenaarioissa. Suurin parannus saavutetaan skenaariossa S5 (Q3/2005 toteuma), jossa varastoon menee lähes 4 % vähemmän kuin lähtötasossa. Järeysrunkohinnoitteluskenaarioissa S2 ja S6 muutosta ei juuri ole. Vuoden 2024 osalta järeysrunkohinnoittelun matriisit eivät poikenneet merkittävästi puutavaralajihinnoittelussa käytetyistä, koska tavoitteellisempi katkonnanohjaus ei ollut vielä käytössä. Skenaarion S6 pieni muutos selittyy sillä, että järeysrunkohintakaupoissa on haettu voimakkaammin tiettyjä pituuksia yli tavoitematriisin, tavoitteena tasapainottaa kokonaisuutta. Tämän takia kaikille pituuksille ei löytynyt riittävästi kysyntää. Pelkkien järeysrunkohinnoittelukauppojen tarkastelu omanaan ei siis kerro koko totuutta, eikä ole edes ihan tarkoituksenmukaista. Skenaariot S2 & S6 kuitenkin pidetään tarkastelussa mukana, sillä niiden avulla voidaan tehdä tiettyjä huomioita, tiedostaen skenaarioiden teoreettisuuden.

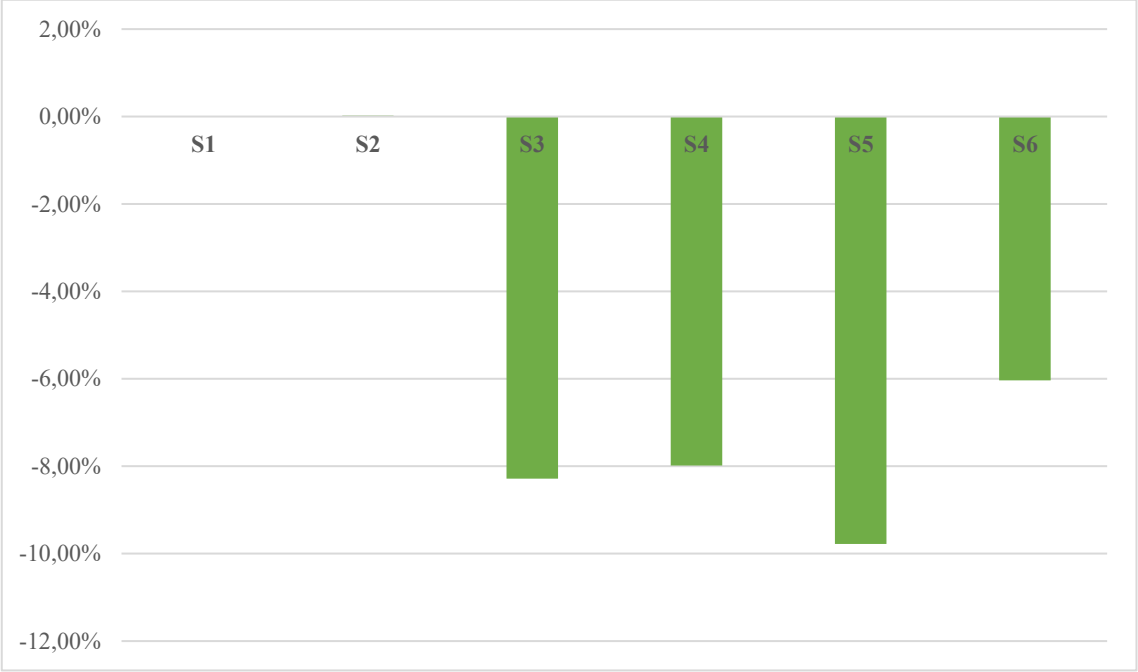
Siirryttäessä tarkastelemaan tuloksia eri puulajien osalta tuloksissa on enemmän vaihtelua. Kuva 14 kertoo varastoon menevän osuuden prosentuaalisen muutoksen männyn osalta verrattuna lähtötasona toimivaan S1 skenaarioon.




Kuva 14: Männyn varastoon menevän määrän prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötasoon

Männyssä selkeästi eniten varastoon ohjautui tuotantoa kysynnän puutteen takia järeysrunkohinnoittelun vuoden 2025 skenaariossa S6. Männyn osalta tämän järeysrunkohinnoitteluskenaarion teoreettisuus korostuu, sillä matriisilla on voitu hakea esimerkiksi jotain tiettyä pituutta, joka on ylikorostunut skaalattaessa järeysrunkohintakauppoja samaan tukkimäärään. Muiden skenaarioiden osalta muutokset ovat melko pieniä, paitsi että myös skenaariossa S3 varastoon ohjautui enemmän tuotantoa lähtötasoon verrattuna.

Kuusen osalta tilanne näyttää varsin erilaiselta ja varastoon ohjautuvan tuotannon osuudet ovat esitetty kuvassa 15.




Kuva 15: Kuusen varastoon menevän määrän prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötasoon

Kuusella ainoastaan skenaario S2 (Q3/2024 järeysrunkohintakaupat) ei tuonut parannusta lähtötilanteeseen. Kuten aiemmin todettiin, vuoden 2024 eri hinnoittelumenetelmien matriisit erosivat vain vähän toisistaan. Kaikissa muissa skenaarioissa varastoon ohjautuva tuotanto pieneni merkittävästi. Suurin parannus, lähes 10 %, saavutettiin vuoden 2025 Q3 toteumaskenaariossa S5. Vuoden 2025 järeysrunkohinnoittelukaupoissa, skenaariossa S6, parannus jäi noin kuuteen prosenttiin. Tulos on männyn vastaavaan verrattuna selvästi parempi, mutta kuusellakaan kysyntää ei riittänyt kaikille järeysrunkohinnoittelussa voimakkaimmin painottuville pituuksille. Tämä seikka kuitenkin vahvistaa järeysrunkohinnoittelun toimivuutta pituusoptimoinnissa.

## 5.3 Asiakkuudet

Asiakkuudet on jaoteltu neljään luokkaan: A, B, C ja D-asiakkuuksiin. Taulukko 2 esittää näiden asiakkuuksien prosentuaalisen jakautumisen eri skenaarioissa.

Taulukko 2: A-, B-, C- ja D-asiakkuuksien prosentuaalinen jakauma

| Skenaario | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| S1 | 25,02 % | 10,85 % | 3,00 % | 61,13 % |
| S2 | 25,17 % | 10,81 % | 2,99 % | 61,02 % |
| S3 | 25,49 % | 10,71 % | 3,07 % | 60,73 % |
| S4 | 25,73 % | 10,90 % | 2,86 % | 60,52 % |
| S5 | 25,95 % | 10,74 % | 3,09 % | 60,22 % |
| S6 | 25,88 % | 10,72 % | 2,92 % | 60,48 % |

Skenaarioiden väliset muutokset ovat melko pieniä, mutta kaikissa skenaarioissa määriä ohjautuu hieman enemmän A-asiakkuuksiin lähtötasoon verrattuna, pääosin D-asiakkuuksista siirtyen. Suurin A-asiakkuuksien osuus (25,95 %) ja samalla pienin D-asiakkuuksien osuus (60,22 %) saavutetaan skenaariossa S5. A-asiakkuuksille ohjautuva lisävolyymi tukee yrityksen strategista linjaa, mikä tekee skenaariosta S5 näistä tarkastelluista vaihtoehdoista parhaan. Vaikka A-asiakkaat eivät aina välttämättä ole kannattavimpia, ne ovat strategisesti haluttuja esimerkiksi pitkäaikaisen yhteistyön tai ennustettavan ja riittävän suuren tilausvolyymin vuoksi.

Puulajikohtainen tarkastelu paljastaa pieniä eroja asiakkuuksien jakaumassa. Alla olevassa taulukossa 3 esitetään männyn asiakkuuksien prosentuaalinen jakautuminen A-, B-, C- ja D-luokkiin eri skenaarioissa.

Taulukko 3: A-, B-, C- ja D-asiakkuuksien prosentuaalinen jakauma männyllä

| Skenaario | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| S1 | 35,89 % | 10,00 % | 0,00 % | 54,11 % |
| S2 | 36,17 % | 9,87 % | 0,00 % | 53,96 % |
| S3 | 35,55 % | 9,98 % | 0,00 % | 54,47 % |
| S4 | 36,23 % | 10,08 % | 0,00 % | 53,69 % |
| S5 | 36,80 % | 10,19 % | 0,00 % | 53,01 % |
| S6 | 36,86 % | 9,76 % | 0,00 % | 53,38 % |

Männyn osalta suurin A-osuus (36,86 %) saavutetaan skenaariossa S6, ja skenaario S5 on lähes yhtä hyvä (36,80 %). D-asiakkuuksien osuus on pienin skenaariossa S5 (53,01 %) ja

toiseksi pienin skenaariossa S6 (53,38 %). Näin ollen skenaariot S5 ja S6 tuottavat parhaan jakauman männyn osalta. Alkuvuodesta 2025 tehtyyn tukkiennusteeseen pohjautuva skenaario 3 on ainoa, jossa jakauma on lähtötasoa heikompi. Tämä voi selittyä suman rakenteen heikentymisellä suuremman harvennusosuuden vuoksi.

Kuusen osalta vastaava asiakkuuksien prosentuaalinen jakautuminen A-, B-, C- ja D-asiakkuuksiin eri skenaarioissa esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4: A-, B-, C- ja D-asiakkuuksien prosentuaalinen jakauma kuusella

| Skenaario | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| S1 | 16,67 % | 11,51 % | 5,31 % | 66,51 % |
| S2 | 16,64 % | 11,55 % | 5,31 % | 66,50 % |
| S3 | 18,01 % | 11,25 % | 5,35 % | 65,38 % |
| S4 | 17,75 % | 11,52 % | 5,03 % | 65,71 % |
| S5 | 17,93 % | 11,15 % | 5,38 % | 65,55 % |
| S6 | 17,80 % | 11,43 % | 5,07 % | 65,70 % |

Kuusella suurin A-asiakkuuksien osuus ja pienin D-asiakkuuksien osuus toteutuu skenaariossa S3. Lähes yhtä suuri A-osuus ja toiseksi pienin D-osuus nähdään vuoden 2025 toteumaskenaariossa S5. Suunta on oikea, sillä lähtötasoon verrattuna A-asiakkuuksien osuus on kasvanut reilun prosenttiyksikön verran, ja D-asiakkuuksien osuus on pienentynyt noin prosenttiyksikön verran.

## 5.4 Markkina-alueet

Tulosten tarkastelu markkina-alueittain molemmat puulajit yhdistettynä ei ole tarkoituksenmukaista, sillä männyn ja kuusen markkina-alueet eroavat toisistaan. Sen sijaan analysointi puulajikohtaisesti avaa tuotannon maantieteellistä kohdistumista.

Taulukossa 5 esitetään eri skenaarioiden prosentuaalinen jakautuminen eri markkina-alueille männyllä.

Taulukko 5: Markkina-alueiden prosentuaalinen jakauma männyllä

| Skenaario | Alue 1 | Alue 2 | Alue 3 | Alue 4 |
|---|---|---|---|---|
| S1 | 40,16 % | 14,19 % | 37,29 % | 8,35 % |
| S2 | 40,33 % | 13,95 % | 37,35 % | 8,37 % |
| S3 | 39,42 % | 14,51 % | 37,61 % | 8,47 % |
| S4 | 40,16 % | 14,56 % | 37,29 % | 7,98 % |
| S5 | 40,85 % | 15,23 % | 36,53 % | 7,39 % |
| S6 | 39,52 % | 15,40 % | 37,07 % | 8,02 % |

Männyn markkina-alueet on jaettu tarkastelussa neljään ja alueet ovat prioriteettijärjestyksessä. Skenaario S5, vuoden 2025 toteuma, tuottaa eniten siirtymää halutuimmille markkina-alueille. Skenaariossa S6 on suurin osuus alueella 2, joten tälle markkinalle on löytynyt järeysrunkohinnoittelussa painotetuille pituuksille enemmän kysyntää.

Kuusen osalta eri skenaarioiden prosentuaalinen jakautuminen eri markkina-alueille esitetään taulukossa 6.

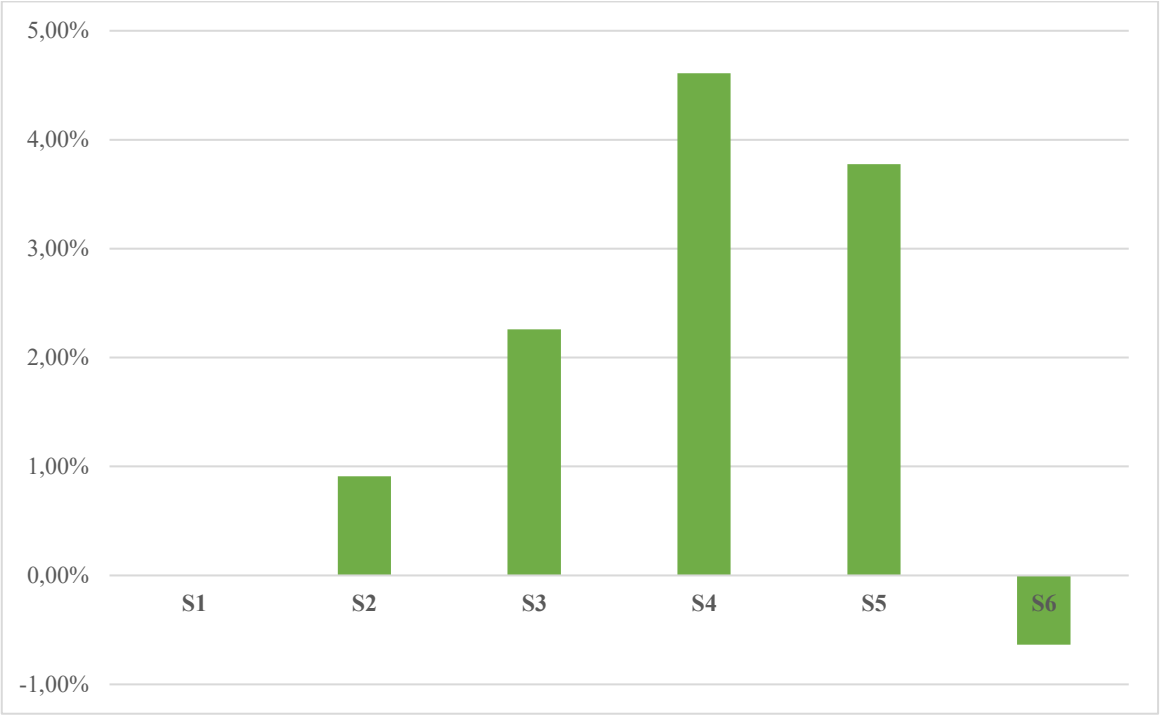
Taulukko 6: Markkina-alueiden prosentuaalinen jakauma kuusella

| Skenaario | Alue 1 | Alue 2 | Alue 3 |
|---|---|---|---|
| S1 | 66,43 % | 21,22 % | 12,35 % |
| S2 | 66,43 % | 21,22 % | 12,35 % |
| S3 | 67,23 % | 20,95 % | 11,82 % |
| S4 | 66,43 % | 21,22 % | 12,35 % |
| S5 | 67,00 % | 20,76 % | 12,25 % |
| S6 | 66,93 % | 21,02 % | 12,05 % |

Kuusella markkina-alueita on tarkastelussa kolme, ja alueet on järjestetty prioriteetin mukaan. Kuusen osalta on havaittavissa pientä maantieteellistä siirtymää halutummalle markkina-alueelle. Skenaariossa S3 alueen 1 prosentuaalinen osuus on suurin ja vastaavasti alueen 3 pienin. Skenaario 5 tuottaa lähes yhtä suuren osuuden alueelle 1. Markkina-alueiden keskihinnat voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Siksi jo pieni siirtymä voi suurissa volyymeissa näkyä vaikutuksina kannattavuuteen.

## 5.5 Taloudellinen vaikutus

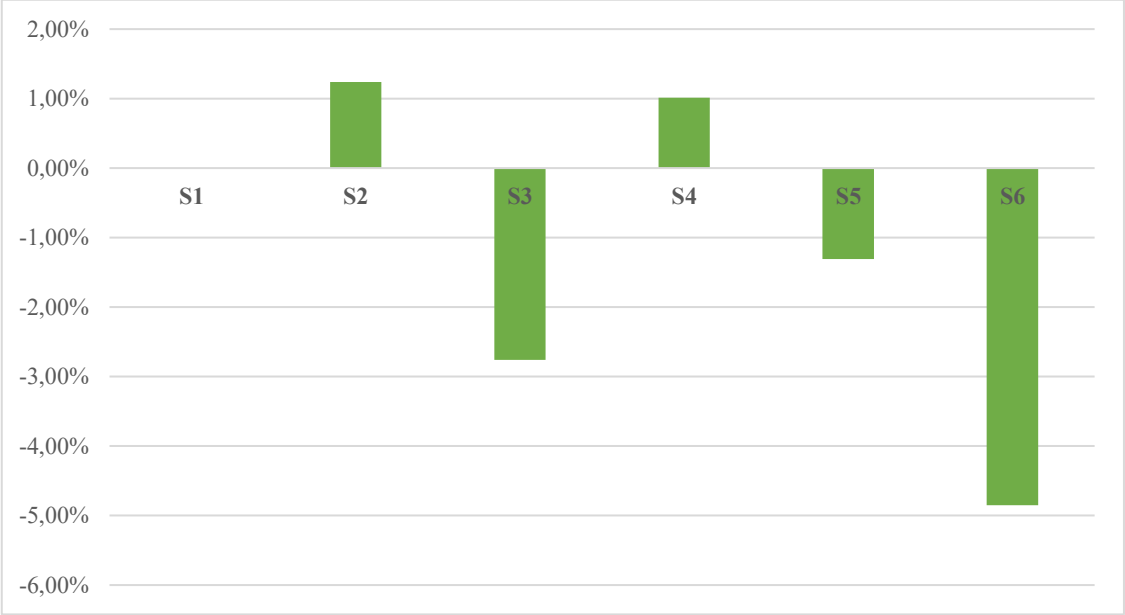
Edellä käsiteltiin eri skenaarioiden vaikutuksia asiakkuuksiin, markkina-alueisiin ja kohdistumattoman kysynnän osuuteen. Nämä tekijät heijastuvat suoraan tulokseen. Kuvassa 16 esitetään eri skenaarioiden vaikutus katteeseen (liikevaihto – muuttuvat kustannukset) suhteessa lähtötasoon, prosentuaalisena muutoksena. Prosenttiluku kertoo, kuinka paljon kate paranee tai heikkenee verrattuna skenaarioon S1.




Kuva 16: Katteen suhteellinen muutos lähtötasoon nähden

Skenaarioissa S2–S5 kate paranee lähtötasoon nähden, kun taas skenaariossa S6 tulos heikkenee hieman. Suurin parannus saavutetaan skenaariossa S4, joka perustuu vuoden 2025 päivitettyyn tavoitematriisiin ja tulos kasvaa yli 4,5 % lähtötasoon verrattuna. Kokonaisuuden tarkastelu ei anna kovin selkeää kuvaa, sillä puulajien tulokset poikkeavat merkittävästi toisistaan.

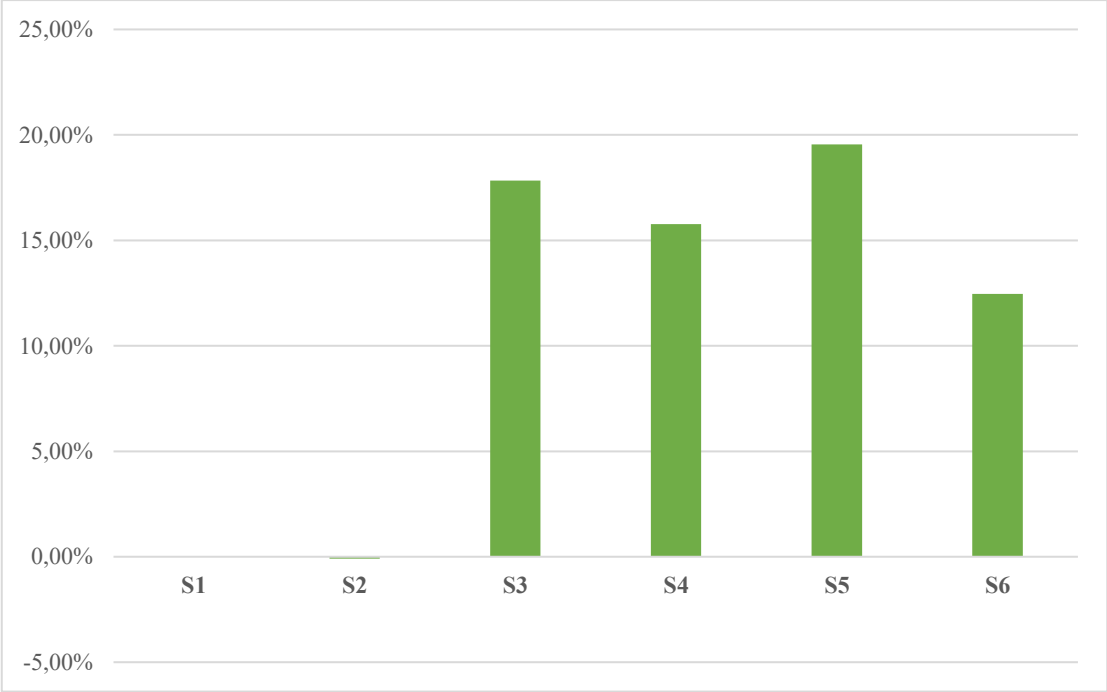
Puulajikohtainen vertailu katteen osalta vahvistaa aiemmin esitettyjen havaintojen mukaiset odotukset. Kuvassa 17 näkyy eri skenaarioiden vaikutus männyn katteeseen suhteessa lähtötasoon, prosentuaalisena muutoksena.




Kuva 17: Katteen suhteellinen muutos lähtötasoon nähden, mänty

Männyn osalta parannukset ovat vähäisiä ja epätasaisia, sillä vain skenaariot S2 ja S4 tuovat pientä positiivista muutosta, kun taas S3, S5 ja erityisesti S6 heikentävät katetta. Suurin heikennys tapahtuu skenaariossa S6, jossa kate laskee noin 5 % lähtötasoon verrattuna.

Kuvassa 18 esitetään vastaava eri skenaarioiden vaikutus kuusen katteeseen suhteessa lähtötasoon, prosentuaalisena muutoksena.




Kuva 18: Katteen suhteellinen muutos lähtötasoon nähden, kuusi

Kuusen osalta tilanne on päinvastainen. Lähes kaikki skenaariot parantavat katetta merkittävästi, ja paras tulos saavutetaan skenaariossa S5, vuoden 2025 toteumassa, jossa parannus on noin 20 % lähtötasoon nähden.

Taulukko 7 tiivistää tutkimuksen keskeiset tulokset ja kokoaa tarkasteltujen tekijöiden vaikutukset kuusen ja männyn osalta.

Taulukko 7: Yhteenveto tutkimuksen tuloksista

| Tarkastelukohde | Vaikutus, kuusi | Vaikutus, mänty |
|---|---|---|
| **Tavoitematriisin osumatarkkuus** | Parani selvästi | Heikkeni hieman, hajaantunut |
| **Varastoon ohjautuva tuotanto** | Väheni merkittävästi | Kasvoi osassa skenaarioita |
| **Asiakkuusjakauma** | Pientä kasvua A-asiakkuuksissa, vähennys D-asiakkuuksista | Pientä kasvua A-asiakkuuksissa, vähennys D-asiakkuuksista |
| **Markkina-alueet** | Pientä siirtymää halutummalle alueelle | Pientä siirtymää halutuimille alueille |
| **Kate** | Selkeä parannus | Epätasainen, osin heikentynyt |

Kuusella tarkastelukohteiden vaikutukset ovat johdonmukaisesti positiivisia. Tavoitematriisin osumatarkkuus parani selvästi, varastoon ohjautuva tuotanto väheni merkittävästi, asiakkuusjakauma ja markkina-alueet siirtyivät toivottuun suuntaan, ja kate parani selkeästi. Männyn osalta tulokset ovat hajanaisempia. Tavoitematriisin toteuma heikkeni hieman, varastoon ohjautuva tuotanto kasvoi osassa skenaarioita, ja vaikka asiakkuusjakaumassa ja markkina-alueissa nähtiin pientä positiivista kehitystä, kate jäi epätasaiseksi ja osin heikentyi.

Tavoitematriisin toteuma ja skenaariokohtaiset tarkastelut ovat linjassa, sillä kuusella vaikutukset ovat johdonmukaisesti positiivisia, kun taas männyn osalta tulokset ovat vaihtelevampia ja osin heikompia.

# 6 Johtopäätökset

Tutkimus toteutettiin ajankohtana, jolloin tavoitteellisempaa tavoitematriisia ja katkonnanohjausta otettiin vasta käyttöön. Tutkimuksen aineistojen ajanjaksoksi valikoitui kolmas kvartaali, sillä uusi tavoitematriisi saatiin käyttöön kolmannelle kvartaalille 2025. Ajankohdan valintaan vaikutti myös tekijän opintojen aikataulu. Näin ollen tutkimus tarjoaa ensimmäisiä suuntaviivoja tavoitematriisin toteutumisesta ja sen vaikutuksista.

Tutkimuskysymyksinä olivat:

- Päästäänkö järeysrunkohinnoittelun mahdollistamalla tukkien pituusjaon optimoinnilla lähemmäs tavoitetukkimatriisia?
- Saavutetaanko toiminnalla lisäarvoa sahaliiketoiminnalle, ja kuinka paljon verrattuna perinteiseen puutavaralajihinnoitteluun perustuvaan puunhankintaan?

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksen osalta voidaan todeta, että kuusen kohdalla tavoitematriisin ohjausvaikutus näkyy jo ensimmäisessä kvartaalissa, jossa sitä on sovellettu. Kun tavoitematriisisissa on pystytty tunnistamaan ne kohdat, joissa tarvitaan lisäystä ja joissa vähennystä, pituusjaon optimointi on tuottanut toivottua tulosta ja lähentänyt toteutunutta jakaumaa tavoitematriisiin. Vaikka järeysrunkohinnoittelukauppojen osuus on tarkastelujaksolla ollut varsin pieni (noin 10 %), voidaan jo tämänkin määrän katsoa tukeneen kokonaisuuden tasapainottamista. Järeysrunkohinnoittelun avulla on mahdollisuus ohjata tukkien pituusjakaumaa hyvin määrätietoisesti haluttuun suuntaan. Kuitenkin, koska valtaosa puukaupasta tehdään edelleen puutavaralajihinnoittelun perusteella, on sen sisällä tapahtuvalla optimoinnilla suurempi kokonaisvaikutus. Puutavaralajihinnoittelun rajoitteet kaventavat katkonnanohjauksen liikkumavaraa, mutta sopimuksissa määriteltyjen mitta- ja pituusehtojen sisällä on mahdollista tehdä optimointia. Kokonaisuuteen vaikuttaa myös ulkoisten toimitusten määrä, sillä niiden ohjausmahdollisuudet ovat rajalliset. Jos jatkossa järeysrunkohinnoittelukauppojen osuus kasvaa, se lisää katkonnan ohjauksen mahdollisuuksia entisestään, sillä tämän hinnoittelutavan avulla voidaan vaikuttaa pituusjakaumaan huomattavasti tarkemmin kuin puutavaralajihinnoittelussa.

Männyn osalta vastaavaa kehitystä tavoitematriisin toteumassa ei havaittu, mikä viittaa siihen, että pelkkä pituusoptimointi ei riitä, vaan tarvitaan myös läpimittajakauman ja tukkiluokkapainotuksen huomioimista. Tämä avaa mahdollisuuksia jatkotoimenpiteille männyn osalta, jossa on edelleen hyödyntämätöntä potentiaalia.

Toisen tutkimuskysymyksen osalta tukkisumaskenaarioiden vertailu osoitti, että uusi toimintamalli on tuottanut positiivisia vaikutuksia sahaliiketoiminnan kannalta. Molempien puulajien osalta havaittiin siirtymää strategisesti tärkeille A-asiakkaille, kuusella hieman enemmän. Lisäksi sekä kuusella että männyllä tapahtui pientä siirtymää halutuimmille markkina-alueille, mikä viittaa siihen, että tavoitteellisella katkonnanohjauksella voidaan ohjata tuotantoa halutuimmille asiakkaille ja kannattavimmille markkinoille. Tämä tukee Mikkosen esiin nostamaa (2017) asiakaslähtöistä toimintamallia.

Tutkimuksessa nousi esiin myös haasteita, erityisesti liittyen rajoittamattoman asiakaskysynnän mukaan saamiseen. Asiakaskysyntä on yksi keskeisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat optimaaliseen tukkijakauman saavuttamiseen (Marshall, 2008) ja sen tarkkuus heijastuu lopputulokseen. Tämä korostui erityisesti männyn kohdalla, jossa markkinatilanne oli tutkimuksen ajankohtana epävarma ja asiakkaiden kyky arvioida tulevaa kysyntää heikko. Mitä luotettavampia ja tarkempia arviot tulevasta kysynnästä ovat, sitä tehokkaammin toimitusketjua voidaan hallita (Menzer & Moon, 2005).

Kuusen osalta varastoon päätyvän tuotannon määrä, jolle ei ollut suoraa asiakaskysyntää, väheni merkittävästi. Tämä tukee havaintoa asiakasohjautuvuuden lisääntymisestä. Männyn kohdalla varastoon ohjautuvan määrän osalta ei havaittu vastaavaa kehitystä, mikä osaltaan selittää, miksi taloudellista tulosparannusta ei sen osalta syntynyt. Kuusen kohdalla sen sijaan kehitys heijastui suoraan taloudelliseen tulokseen, sillä katetuotto parani. Tämä osoittaa, että tavoitematriisin ja katkonnanohjauksen avulla voidaan saavuttaa konkreettisia taloudellisia hyötyjä, kun tuotantoa onnistutaan suuntaamaan kannattavampiin asiakkuuksiin ja markkinoihin sekä vähentämään varastoon menevää tuotantoa.

Katkonnanohjauksen kehittämisessä keskeistä on tavoitematriisin jatkuva päivittäminen ja sen tavoitteellisuuden säilyttäminen. Matriisin tulee olla riittävän kunnianhimoinen, jotta se ohjaa tehokkaasti, mutta samalla sen on oltava realistinen suhteessa katkonnan rajoitteisiin. Esimerkiksi rungon ominaisuudet ja katkonnan logiikka asettavat reunaehtoja, jotka on huomioitava matriisia laadittaessa. Tavoitematriisin ajantasaisuus on erityisen tärkeää

muuttuvissa markkinatilanteissa, joissa asiakaskysyntä voi vaihdella nopeasti. Kuten Mikkonen (2017) osuvasti toteaa, sahatavarakaupassa mikään ei ole niin pysyvää kuin muutos, mikä korostaa joustavan ja reagoivan ohjausjärjestelmän tarvetta.

Tulevaisuudessa tavoitematriisin kehittämisessä tulisi huomioida myös läpimittajakauma ja tukkiluokkapainotus, erityisesti männyn osalta. Lisäksi erityisesti niiden tukkiluokkien, joissa pituus ei ole kriittinen tekijä, tarkempi analyysi voisi tuoda lisäarvoa kokonaisuuden optimointiin.

Kivinen (2007, 59) kuitenkin muistuttaa, että tukin jakauman ja kysynnän yhteensopivuus ei yksin riitä takaamaan koko toimitusketjun kustannustehokkuutta. Optimaalinen yhteensopivuus voi edellyttää kompromisseja esimerkiksi korjuu- ja kuljetuskustannusten suhteen. Tämä korostaa tarvetta tarkastella tavoitematriisin vaikutuksia osana laajempaa kokonaisuutta, jossa huomioidaan myös muut toimitusketjun vaiheet ja niiden keskinäiset riippuvuudet.

Vaikka tutkimus ei pyrkinyt optimoimaan koko puunhankintaketjua, vaan keskittyi lisäarvon tuottamiseen tukin jalostusarvon ja asiakaslähtöisyyden kautta, tulokset osoittavat, että uudella tavoitematriisilla ja järeysrunkohinnoittelun hyödyntämisessä katkonnanohjauksessa, on potentiaalia tukea kannattavampaa ja asiakaslähtöisempää sahaliiketoimintaa. Jatkotutkimuksissa olisi hyödyllistä tarkastella tavoitematriisin vaikutuksia pidemmällä aikavälillä sekä laajentaa analyysiä kattamaan myös muut toimitusketjun osa-alueet.

Lisäksi jatkossa voisi tarkastella läpimittaoptimoinnin laajentamista sorvaavan teollisuuden kanssa. Koska sorvaava teollisuus käyttää osin samoja tukkeja kuin sahat, läpimittajakauman tarkempi ohjaus voisi mahdollistaa tukkiluokkien tarkoituksenmukaisemman jaon. Tietyt tukkiluokat, joihin kohdistuu vähemmän kysyttyjä tuotteita sahateollisuudessa, voitaisiin ohjata suuremmassa määrin sorvaavan teollisuuden käyttöön, ja vastaavasti sahoille ohjautuisi enemmän niitä tukkiluokkia, joista saadaan halutuimpia tuotteita.

# 7 Yhteenveto

Suomen sahateollisuus toimii haastavassa toimintaympäristössä, jossa kannattavuuteen vaikuttavat rakentamisen suhdanteet ja kohonneet raaka-ainekustannukset. Raaka-aine on sahateollisuuden merkittävin kustannuserä, ja tukin hinnan nousu on ollut nopeampaa kuin sahatavaran hinnan kehitys. Näissä olosuhteissa raaka-aineen optimaalinen hyödyntäminen on keskeistä kannattavuuden parantamiseksi. Katkonnanohjaus on yksi kriittisimmistä vaiheista puunhankinnassa, sillä katkonnan lopputulos vaikuttaa suoraan sahatavaran arvosaantoon eikä ole korjattavissa myöhemmissä vaiheissa. Perinteinen puutavaralajihinnoittelu rajoittaa katkonnan joustavuutta, kun taas järeysrunkohinnoittelu tarjoaa mahdollisuuden ohjata katkonnan pituusjakaumaa vapaammin markkinatilanteen mukaan.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko järeysrunkohinnoittelun mahdollistamalla vapaammalla katkonnalla parantaa tavoitematriisin toteutusta ja tuottaa lisäarvoa sahaliiketoiminnalle. Diplomityö aloitettiin keväällä ja saatiin päätökseen syksyllä 2025, ja tutkimus tehtiin Metsä Fibren toimeksiannosta. Työ sisälsi kirjallisuuskatsauksen, aineiston keruun yrityksen tietojärjestelmistä, optimointisovelluksen käytön sekä tulosten analysoinnin.

Kirjallisuuskatsaus käsitteli puunhankinnan ominaispiirteitä, puukaupan hinnoittelumalleja sekä tekijöitä, jotka ohjaavat tukin optimaalisen jakauman saavuttamista hakkuukoneapteerauksessa. Näistä muodostettiin tutkimuksen teoreettinen viitekehys.

Keskeinen osa tutkimusta oli lineaariseen monimuuttujaoptimointiin perustuvan sovelluksen käyttö, jolla muodostettiin kuusi skenaariota eri tukkisumista. Optimointimalli huomioi tuotanto- ja kysyntätiedot sekä sahausasetteiden kannattavuuden. Lisäksi tarkasteltiin tavoitematriisin toteumaa vertaamalla vuoden 2025 kolmannen kvartaalin toteumaa toisen kvartaalin toteumaan. Työn tukena toimi asiantuntijaryhmä, joka varmisti tulosten luotettavuuden ja yrityksen tavoitteiden mukaisuuden.

Tulokset osoittivat, että vaikka järeysrunkohinnoittelukauppojen osuus oli tarkastelujaksolla pieni, se tukee pituusjakauman ohjausta ja lähentää toteumaa tavoitematriisiin kuusen osalta. Molemmilla puulajeilla havaittiin siirtymää strategisesti tärkeimmille asiakkaille ja maantieteellisesti halutuille markkinoille, kuusella hieman enemmän. Molempien puulajien osalta rajoittamattoman asiakaskysynnän mukaan saamisessa oli haasteita, mikä korostaa

kysyntäennusteiden tarkkuuden merkitystä. Kuusella varastoon ohjautuva tuotanto kuitenkin väheni, mikä paransi katetuottoa. Männyn kohdalla varastoon ohjautui enemmän tuotantoa, mikä heikensi tulosta. Männyn osalta tavoitematriisin jatkokehitys edellyttää läpimittajakauman ja tukkiluokkapainotuksen huomioimista, jotta voidaan saavuttaa konkreettisia hyötyjä.

Jatkotutkimuksissa olisi hyödyllistä tarkastella tavoitematriisin vaikutuksia pidemmällä aikavälillä sekä laajentaa analyysiä kattamaan koko toimitusketju. Lisäksi läpimittaoptimoinnin lisääminen sorvaavan teollisuuden kanssa voisi tuoda lisäarvoa puuvirran ohjaukseen. Tutkimus tarjoaa ensimmäisiä suuntaviivoja järeysrunkohinnoittelun hyödyntämisestä katkonnanohjauksessa ja osoittaa sen potentiaalin kannattavuuden ja asiakasohjautuvuuden parantamisessa.

# Lähteet

Adolfson, G., Melin, U. & Markgren, F. 2000. Samverkan och affärsutveckling i träkedjan – sågverk och nätverk i förändring. Stockholm. Trätek. Rapport 1 0007010.

Ahonen, O.-P. & Lemmetty, J. 1995. Leimikon tukkijakauman ohjauksen keinot. Metsätehon katsaus 5: 6 s. Saatavissa https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1995_05-compressed.pdf

Ben Ali, M., D'amours, S., Gaudreault, J. & Carle, M. 2019. Integrating revenue management and sales and operations planning in a Make-To-Stock environment: softwood lumber case study. INFOR: Information Systems and Operational Research, vol. 57, no. 2, pp. 314–341.

Björheden, R. & Helstad, K. 2005. Raw Material Procurement in Sawmills' Business Level Strategy - A Contingency Perspective. International Journal of Forest Engineering 16(2), 47–56.

von Essen, I. & Möller, J.J. 1997. Fördelningsaptering på mindre trakter. SkogForsk. Arbetsrapport 371. Saatavissa https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/1997/fordelningsaptering-pa-mindre-trakter/

Heikkilä, J. 2012. Puumarkkinoille toimivuutta -hanke. Runkohinnoitteluselvitys. Metsänomistajien liitto Länsi-Suomi. Viitattu 10.3.2025. Saatavissa https://docplayer.fi/30469138-Runkohinnoitteluselvitys.html.

Helstad, K. 2006. Managing timber procurement in Nordic purchasing sawmills. Acta Wexionensia No. 93/2006. PhD thesis. Växjö University.

Hokka, T. & Imponen, V. 2002. Puutavaranmittaus. Teoksessa Hyvämäki, T. (toim.) Tapion taskukirja. 24. uudistettu painos. Helsinki. Metsälehti.

Hämäläinen, J. Holopainen, M. Hynynen, J. Jyrkilä, J. Rajala, P.T., Ritala, R., Räsänen, T. Visala, A. 2014. Perusteita seuraavan sukupolven metsävarajärjestelmille - Forest Big Data -hanke. Metsätieteen aikakauskirja 4/2014. s. 235–241. Saatavissa https://doi.org/10.14214/ma.5884.

Jones, I. 1999: Increasing value through supply chain planning. New Zealand Journal of Forestry. 44(3): 5-8.

Kivinen, V.-P., & Uusitalo, J. 2002. Applying fuzzy logic to tree bucking control. Forest Science 48(4): 673–684.

Kivinen, V. P. 2004. A Genetic Algorithm Approach to Tree Bucking Optimization. Forest Science, 50, 696-710.

Kivinen, V-P, Uusitalo, J. Nummi, T. 2005. Comparison of four measures designed for assessing the fit between the demand and output distributions of logs. Canadian Journal of Forest Research Vol. 35: 693–702

Kivinen, V. P. 2007. Design and testing of stand-specific bucking instructions for use on modern cut-to-length harvesters. University of Helsinki, Department of Forest Resource Management Faculty of Agriculture and Forestry. Dissertationes Forestales 37. Saatavissa http://hdl.handle.net/10138/20652

Kärhä, K., Ronkainen, J., Rajala, P. T., Mutanen, J., Palander, T., Räsänen, T., Sorsa, J-A., & Moilanen, T. Kehittynyt katkonnan ohjaus ja ennakkosuunnittelutiedon tarkkuus. Metsätehon tuloskalvosarja 6/2015. Saatavissa https://www.metsateho.fi/kehittynyt-katkonnan-ohjaus-ja-ennakkosuunnittelutiedon-tarkkuus/

Kärhä, K., Änäkkälä, J., Hakonen, O., Palander, T., Sorsa, J-A., Räsänen, T., Moilanen, T. 2017. Analyzing the Antecedents and Consequences of Manual Log Bucking in Mechanized Wood Harvesting. Mechanics, Materials Science & Engineering. 12, 1-15.

Lapide, L. 2015. Supply-neutral versus unconstrained demand. Journal of Business Forecasting, Vol.34 (2), 19-20,22-23.

Lappi, J. 2024. From Finnish Assortment Pricing to Market Economy Using Prices for Sawn Wood and Chips in Reference Bucking. Open Journal of Forestry, 14, 233-280.

Laroze, A.J. 1999. A linear programming, tabu search method for solving forest-level bucking optimization. Forest Science 45(1):108–116.

Lindblad J., Kilpeläinen H., Heikkinen J. 2018. Hakkuukonemittauksen tyvifunktio männyn tyviosan tilavuuden määrityksessä. Metsätieteen aikakauskirja 2018. Artikkeli 7805. 26 s. Saatavissa https://doi.org/10.14214/ma.7805

Lukkarinen, E. & Marjomaa. J. 1997. Rungon kapenemisen ennustaminen hakkuukoneen mittalaitteella - Ennustusmenetelmien vertailu. Metsätehon raportti 35. Saatavissa https://www.metsateho.fi/rungon-kapenemisen-ennustaminen-hakkuukoneen-mittalaitteella-ennustusmenetelmien-vertailu/

Lukkarinen, E., Keskinen, S. & Pennanen, O. 1998. Tukkien laatukriteerit ja apteerauksen arvoperusteet. Metsätehon raportti 65. Saatavissa https://www.metsateho.fi/tukkien-laatukriteerit-ja-apteerauksen-arvoperusteet/

Luonnonvarakeskus. 2015. Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. Nro 1/2015. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/maarayskokoelmat/luonnonvarakeskus/2015/42353

Luonnonvarakeskus. 2025. Teollisuuspuun kauppa 2024. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.2.2025. Saatavissa www.luke.fi/fi/tilastot/teollisuuspuun-kauppa/teollisuuspuun-kauppa-2024

Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Uusia toimintatapoja puukauppaan. Tiedote. Viitattu 9.3.2025 Saatavissa https://mmm.fi/-/nya-instrument-for-utveckling-av-virkeshandeln

Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T., Verkasalo, E. 2006. Variation in the value recovery when bucking to alternative timber assortments and log dimensions. Forestry Studies. Metsanduslikud Uurimused 45, 89–100

Malinen, J., Berg, V. & Kilpeläinen, H. 2010. Roundwood pricing mechanisms and their performance in Scots pine roundwood markets. Metlan työraportteja 174. 35 s. Saatavissa https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2256-2

Malinen, J. 2011. Puuraaka-aineen hinnoittelutavalle on vaihtoehtoja. Teoksessa Metsäsektorin suhdannekatsaus 2011–2012. 51–53. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 25.3.2025. Saatavissa https://jukuri.luke.fi/handle/10024/524209

Malinen, J., Wall, T., Kilpeläinen, H. & Verkasalo, E. 2011. Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa. Metlan työraportteja 206. 45 s. Saatavissa https://jukuri.luke.fi/handle/10024/536114

Malinen, J. & Kilpeläinen, H. 2013. Price Systems for Standing Sales of Industrial Roundwood in Finland. Baltic Forestry 19(2): 307-315.

Marshall, H.D. 2005. An investigation of factors affecting the optimal log output distribution from mechanical harvesting and processing systems. Ph. D. thesis, Oregon State University.

Mentzer, J. & Moon, M. 2005. Sales Forecasting Management – A Demand Management Approach. USA: Sage Publications, Inc.

Metsä Group. 2025. Puunhankinta. Verkkosivu. Viitattu 22.7.2025. Saatavissa https://www.metsagroup.com/fi/puunhankinta/

Metsäteho, 2005. Korjuun suunnittelu ja toteutus -opas. Verkkojulkaisu. Viitattu 27.3.2025. Saatavissa https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuun_suunnittelu_ja_toteutus_ver02.pdf

Mikkonen, E.2017. Markkinointi ja myynti, s. 223–255. Teoksessa Varis. R. (toim.) Sahateollisuus. Saarijärvi. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry.

Mutanen, A. 2024. Saha- ja vaneriteollisuuden tuotanto ja vienti. Teoksessa Viitanen, J., Mutanen, A., Karvinen, S. (toim.) 2024. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2024–2025. Luke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2024. Verkkojulkaisu. Viitattu 18.2.2025. Saatavissa http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-955-0.

Mäkelä, M. 2002. Puutavaran varastointi ja säilyminen. Teoksessa Hyvämäki, T. (toim.) Tapion taskukirja. 24. uudistettu painos. Helsinki. Metsälehti.

Puuhuolto.fi. 2022. Korjuun suunnittelu. Metsätehon opas. Verkkojulkaisu. Viitattu 21.2.2025. Saatavissa https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/

Pennanen, O. 1997. Tuotevaatimusten huomioon ottaminen puunhankinnassa. Metsätieteen aikakauskirja 1/1997: 105–109. Artikkeli 6365. Saatavissa https://doi.org/10.14214/ma.6365.

Piira, T., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkontaohjeilla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2007: 19–37

Rautalin, J. 2020. Usability of stem pricing and fractional stem pricing in roundwood trade – reliability of pre-harvest stand value estimations between alternative pricing methods. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto.

Reyngaard, M. 2025. Research Onion (Saunders): Definition, Layers, Advantages & Limitations. Ivy Research Writers. Verkkojulkaisu. Viitattu 5.11.2025. Saatavissa: https://ivyresearchwriters.com/research-onion-saunders/

Räsänen, T. & Lukkarinen, E. 1998. Puuston ennakkotiedon hankintamenetelmät ja käyttö. Metsätehon raportti 43. 45 s. Saatavissa https://www.metsateho.fi/puuston-ennakkotiedon-hankintamenetelmat-ja-kaytto/

Räsänen, T., Imponen, V., Lindroos, J., Malinen, J. & Sorsa, J.-A. 2000. Runkopankki puunhankinnan ohjauksen välineenä. Metsätehon raportti 94: 42 s. Saatavissa https://www.metsateho.fi/runkopankki-puunhankinnan-ohjauksen-valineena/

Räsänen, T. & Pajuoja, H. 2017. Sahateollisuuden puuraaka-aine ja Puun hankinta s. 37–57. Teoksessa Varis. R. (toim.) Sahateollisuus. Saarijärvi. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry.

Rönnqvist, M. 2003. Optimization in forestry. Math Program Ser. B 97: 267–284

Sahateollisuus ry. 2024. Sahateollisuus: Puun hinta noussut enemmän kuin puutuotteiden hinnat – suhdannetilanne säilyy negatiivisena. Verkkosivu. Viitattu 1.3.2025. Saatavissa https://sahateollisuus.com/2024/11/11/sahateollisuus-puun-hinta-noussut-enemman-kuin-puutuotteiden-hinnat-suhdannetilanne-sailyy-negatiivisena/

Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A. 2016. Research methods for business students: 7. edition. Pearson Education.

StanForD 2010. 2021. Modern communication with forest machines. Skogforsk. Verkkojulkaisu. Viitattu 19.3.2025. Saatavissa https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/stanford-2010/.

Suomen puumarkkinoiden toimintaa koskeva selvitys. 2009. Työ- ja elinkeinoministeriö. Kilpailukyky. 68/2009. 149 s. Viitattu 22.3.2025. Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/279183864_Comparison_of_alternative_roundwood_pricing_systems_-_A_simulation_approach/fulltext/55f30bf408ae1d980393d0b3/Comparison-of-alternative-roundwood-pricing-systems-A-simulation-approach.pdf

Tikkanen L., Ovaskainen H., Palander T. 2009. Adaptive tree bucking using group-guiding of harvesters: a simulation approach. Scandinavian Journal of Forest Research 24(3): 258–263.

Uusitalo, J. 2005. A Framework for CTL Method-Based Wood Procurement Logistics. International Journal of Forest Engineering, 16(2), 37-46.

Uusitalo, J. & Kivinen, V-P. 2023. Metsäteknologian perusteet. Keuruu. Tapio Palvelut Oy.

Uusitalo, J., Kokko, S. & Kivinen, V.-P. 2004. The effect of two bucking methods on Scots pine lumber quality. Silva Fennica 38(3): 291–303. Saatavissa https://doi.org/10.14214/sf.417

Van Aken, J.E. & Romme, A.G.L. 2012. A design science approach to evidence-based management. In: D. Rousseau (ed.), The Oxford Handbook of Evidence-Based Management, pp. 43-57. Oxford: Oxford University Press.

Vuorenpää T., Aaltonen, A., Imponen V., Lukkarinen E. 1997. Tukkijakauman ohjaus. Metsätehon raportti 38. Saatavissa https://www.metsateho.fi/tukkijakauman-ohjaus/

Vuorenpää, T., Arminen, P. & Suuriniemi, S. 1999. Arvomatriisien ja tavoitejakaumien laadinta hakkuukoneille. Metsätehon raportti 81. Saatavissa https://www.metsateho.fi/arvomatriisien-ja-tavoitejakaumien-laadinta-hakkuukoneille/