



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Metsätalousinsinööri (AMK)

# Katkontatarkkuuden kustannus puuraaka-aineen arvoketjussa

Antti Tanninen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2023**  
**Metsätalouden koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Antti Tanninen

Nimeke  
Katkontatarkkuuden kustannus puuraaka-aineen arvoketjussa

Toimeksiantaja  
Waratah OM Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin harvesterin katkontatarkkuuden ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia ja selvitettiin hakkuutyömaakohtaisten taustamuuttujien vaikutusta saavutettuun katkontatarkkuuteen. Toimeksiantaja on johtava tavaralajimenetelmän harvesteripäiden tuotekehitykseen sekä valmistuksen keskittynyt yritys. Opinnäytetyön yhteistyökumppaneina aineiston keräämisessä olivat koneelliseen puunkorjuuseen erikoistunut metsäko-neyritys sekä asiakaslähtöiseen tuotantoon keskittynyt sahateollisuuden yritys.

Opinnäytetyön aineisto kerättiin syksyn 2022 aikana ja keskittyi kuusivaltaisille uudistus-hakkuutyömaalle. Hakkuukoneaineisto koostui StanForD 2010 -tiedonsiirtostandardin muodostamista tiedostoista, kun taas sahateollisuuden aineisto muodostui tukkimittarin mittaustuloksista tukkivastaanoton yhteydessä. Aineiston analysointimenetelmänä käytettiin Spearman-järjestyskorrelaatiota.

Katkontatarkkuuden ylläpidon kustannukset koostuivat harvesterikuljettajan päivittäisistä tarkastusmittausten keskeytyksistä ja niiden vaikutuksesta koneen keskituntituotokseen. Saavutettu katkontatarkkuus ei korreloi suoraan ylläpidon kustannuksiin tai aineiston puustotunnuksiin.

Kieli  
suomi

Sivuja 41

Asiasanat  
harvesterit, katkonta, tarkkuus, omavalvonta, kustannukset, tiedonsiirto, järjestelmät



**THESIS**  
**May 2023**  
**Degree Programme in Forestry**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Antti Tanninen

Title  
Cost of Cutting Accuracy at Saw Log Raw Material Value Chain

Commissioned by  
Waratah OM Oy

#### Abstract

The thesis investigated the costs incurred from maintaining the cutting accuracy of a harvester. It also investigated the impact of cutting site-specific variables on the achieved cutting accuracy. The client is a leading manufacturer of cut-to-length harvester heads, focusing on the product development and harvester head production. The collaborators in data collection were a forest machine company specializing in mechanized logging, and customer-oriented sawmill industry company.

The data for the thesis was collected during the autumn of 2022 and focused on clear-cutting sites dominated by spruce. The harvester data consisted of files created in accordance with the StanForD 2010 data transmission standard. The sawmill industry data was gathered during the saw log receiving's. The Spearman's rank coefficient of correlation was used as the method for analysing the data.

The costs of cutting accuracy in a harvester consist of interruptions to the regular inspection measurements. Measurements are made by the harvester operator which impacts on the machine's average production. The achieved cutting accuracy does not directly correlate with maintenance costs or the tree stand characteristics in the data.

Language  
Finnish

Pages 41

Keywords  
harvesters, bucking, accuracy, self-controlling, costs, data transmission, system

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Määrämittainen raaka-aine .....	6
2.1	Puuraaka-aineen merkitys metsäteollisuudessa .....	6
2.2	Tavaralajimenetelmä puutavaran korjuussa .....	6
2.3	Puutavaran mitta- ja laatuvaatimukset .....	7
2.4	Puutavaralajit ja erilaiset käyttötarkoitukset .....	8
3	Hakkuukonemittaus ja katkonta .....	9
3.1	Hakkuukonemittaus .....	9
3.2	Läpimitta .....	10
3.3	Pituudenmittaus .....	11
3.4	Katkonnan ohjaus .....	12
3.5	StanForD 2010 .....	15
3.6	Omavalvonta .....	16
3.7	Tehdasmittaus .....	18
4	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet .....	19
4.1	Tavoitteet .....	19
4.2	Waratah OM Oy .....	19
5	Aineisto ja menetelmät .....	20
5.1	Tutkimusmenetelmä .....	20
5.2	Tutkimusaineiston hankinta .....	21
5.3	Aineiston analyysimenetelmät .....	22
6	Tulokset .....	22
6.1	Havaintoyksiköt .....	22
6.2	Taustamuuttajat .....	24
6.3	Kustannus ja saavutettu katkontatarkkuus .....	30
6.4	Taustamuuttajien korrelaation riippuvuus tutkimuskysymyksiin .....	32
7	Pohdinta .....	37
7.1	Tulosten tarkastelu .....	37
7.2	Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys .....	38
7.3	Jatkotutkimus ja kehitysideat .....	39
	Lähteet .....	40

# 1 Johdanto

Metsien taloudellinen merkitys Suomelle ja suomalaisille on ollut aina suuri. Metsävarojen hyödyntäminen sahatavaraksi ja paperituotteiksi aloitettiin teollisesti Suomessa 1800-luvun lopulla. Vaikka metsiin perustuvan teollisuuden vientituotteet ovatkin vaihdelleet eri aikakausina, suurin osa raakapuusta menee sellu- ja sahateollisuuden käyttöön. Suomalainen sahateollisuus on yksi tärkeimmistä vientiteollisuuden toimijasta, ja sen maine maailmalla luotettavana ja korkealaatuisen sahatavaran tuottajana on vakiinnuttanut asemansa viimeisten vuosikymmenten aikana. 2020-luvun markkinatrendeissä korostuu monet sahatavaran ominaisuudet, kuten uusiutuvuus, kierrätettävyys, hiilen sitomiskyky sekä kestävyys ja soveltuvuus useisiin eri käyttökohteisiin.

Tällä hetkellä Suomessa toimii lähes 80 teollista sahalaitosta ja vielä useampia pienempiä paikallisia yrityksiä. Vuonna 2021 sahatavara nousi Suomen neljänneksi tärkeimmäksi vientituotteeksi 12 milj. m<sup>3</sup>:n tuotannollaan. (Sahateollisuus 2023.)

Sahateollisuuden tarpeisiin toimitettavat tukit korjataan lähes poikkeuksetta harvesterilla. Sahatukin katkonta määrämittaan tapahtuu metsässä, ja mittatarkka pituuskatkonta on edellytys sille, että raaka-aine pystytään jalostamaan kustannustehokkaasti mahdollisimman arvokkaiksi tuotteiksi.

Opinnäytetyössä tutkittiin harvesterin katkontatarkkuuden ylläpidosta muodostuvaa kustannusta sekä katkonnassa saavutettua katkontatarkkuutta kuusitukin osalta. Kustannus harvesterilla koostui kuljettajan työskentelyn keskeytyksistä ja keskeytysten vaikutuksesta koneen kokonaistuotokseen. Määrämittaisen raaka-aineen epätarkasta katkonnasta muodostuvalla hukalla on taas vaikutus jalostavan laitoksen kannattavuuteen. Opinnäytetyön aineisto on kerätty syyskuun 2022 - joulukuun 2022 välisenä aikana. Aineisto muodostuu hakkuukoneen ohjausjärjestelmän sekä raaka-aineen vastaanoton numeerisista muuttujista. Tarkastelujakson leimikkorakenne sekä olosuhteet edustavat ajankohtaan tyypillisiä uudistushakkuukohteita.

## **2 Määrämittainen raaka-aine**

### **2.1 Puuraaka-aineen merkitys metsäteollisuudessa**

Puuraaka-aineen merkitys metsäteollisuudelle on merkittävä, ja sen saatavuus ja laatu ovat erittäin tärkeitä metsäteollisuuden kannattavuuden ja kilpailukyvyn kannalta. Suomessa metsäteollisuus on yksi merkittävimmistä teollisuudenaloista, joka luo työpaikkoja ja tuo vientituloja maalle. Puunjalostusteollisuus käyttää pääasiassa kotimaista puuraaka-ainetta, ja sen lisäksi suurin osa metsäteollisuuden jalostusarvosta syntyy juuri puuraaka-aineen jalostuksen kautta. Puuraaka-aineen käyttöä voidaan myös optimoida esimerkiksi metsänhoidon, puukaupan, puunkorjuun ja kuljetuslogistiikan kehittämällä, jolloin pystytään maksimoimaan raaka-aineen hyödyntäminen ja vähentämään hukkaa.

Raaka-aineen merkitys ei kuitenkaan rajoitu vain metsäteollisuuteen, vaan sillä on myös laajempia vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan. Puu on uusiutuva ja kotimainen raaka-aine, joka sitoo hiiltä ilmakehästä kasvunsa aikana ja edistää siten ilmastonmuutoksen torjuntaa. Lisäksi metsät tarjoavat suojaa ja elinympäristöjä monille eri eläin- ja kasvilajeille, mikä edistää luonnon monimuotoisuutta. Puuraaka-aineen kestävä käyttö ja metsien hoito onkin tärkeää niin talouden kuin ympäristönkin kannalta. (Metsäteollisuus 2023.)

### **2.2 Tavaralajimenetelmä puutavaran korjuussa**

Tavaralajimenetelmä on nykyaikainen ja tehokas puunkorjuumenetelmä, jossa puut korjataan metsässä harvesterin ja kuormatraktorin muodostaman korjuuketjun avulla. Harvesteri käsittelee jokaisen rungon erikseen käyttötarkoituksen mukaan ja optimoi sen apterauksen avulla mahdollisimman korkeaan arvoisaantoon. Tavaralajit kuljetetaan metsäkuljetuksessa kuormatraktorilla jatkokuljetuskelpoiselle varastopaikalle odottamaan kaukokuljetusta. Tavoitteena tavaralajimenetelmällä on saavuttaa optimaalinen lopputulos, jossa hyödynnetään metsävaroja tehokkaasti huomioiden metsänomistajien, metsäteollisuuden sekä

ympäristön tarpeet. Menetelmä mahdollistaa puun korjuun ja prosessoinnin erittäin tarkasti ja tehokkaasti, mikä vähentää puun hukkaa. Jokaisesta rungosta voidaan erottaa parhaiten sopivat osat eri käyttötarkoituksiin, esimerkiksi sahatukki, kuitu- tai energiapuu. Samalla metsäteollisuus saa laadukasta raaka-ainetta ja ympäristö hyötyy kestävästä metsätaloudesta. Tavaralajimenetelmä on tärkeä osa nykyaikaista ja kestävästä puunkorjuusta. (Seppälä 2020, 8.)

Harvesterissa tavaralajien katkonnan ohjausta voidaan ohjata lähes reaaliaikaisesti. Loppukäyttäjä, yleensä metsäyhtiö, ilmoittaa tuotekohtaiset tarpeensa harvesterille tavaralajeina ja tavaralajien mitta- ja laatuvaatimuksina. Tällä tavoin harvesterin automatiikka maksimoi arvosaannon ja tuottaa teollisuudelle korkealaatuista raaka-ainetta.

Nykyaikainen metsänhoito pyrkii hyödyntämään mahdollisimman paljon metsävaroja kestävällä tavalla, ja siksi myös hakkuutähteet kerätään talteen yhä useammin energiapuuksi, erityisesti kuusivaltaisissa uudistushakkuissa. Tavaralajimenetelmä mahdollistaa hakkuutähteiden tehokkaan keräämisen jo prosessoinnin yhteydessä, jolloin ne voidaan hyödyntää energiakäyttöön ja näin vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Harvesteri kokoaa hakkuutähteet tavaralajien ohella prosessoinnin yhteydessä hakkuutähdekasoihin, jotka kuormatraktori siirtää varastopaikalle odottamaan jatkokäsittelyä.

### **2.3 Puutavaran mitta- ja laatuvaatimukset**

Metsäyhtiöiden asiakastarpeista johdetut raaka-aineen mitta- ja laatuvaatimukset ohjaavat rungon optimaalisten katkaisukohtien määrittämistä siten, että runko tulee tarkkaan hyödynnetyksi. Vaatimuksiin sisältyvät mm. eri tavaralajien minimi- ja maksimiläpimitat, pituusluokat sekä laatuvaatimukset oksaisuuden, lahon, mutkien ja muiden vikojen osalta. (UPM 2023b.) Puutavaralajien katkonassa noudatettavat mitta- ja laatuvaatimukset kerrotaan metsäyhtiöiden korjuuohjeessa. Yhtiöt voivat myös asettaa eri mitta- ja laatuvaatimuksia eri maantieteellisillä alueilla, sillä eri tuotantolaitokset saattavat tarvita erilaisia tavaralajeja.

Puunostaja ja -myyjä sopivat kaupan yhteydessä katkonnän reunaehdot ja puutavaralajien hinnan. Tukkipuusta ja erikoispuutavaralajeista maksetaan yleensä enemmän kuin kuitupuusta tai pikkutukeista. Puukaupan ehtojen mukaisesti tukkiosuus hyödynnetään mahdollisimman tarkasti minimiläpimitan asti, mutta huomioiden sahan mitta- ja laatuvaatimukset. (Rantala 2018, 340.) Saha-tavaran laatu ja lopputuotteen arvo muodostuvat suurelta osin sahalle toimitetusta raaka-aineesta. Jatkojalostuksen aikana korjuun, kuljetuksen tai varastoinnin virheiden korjaaminen voi olla erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta. (Vuorenpää 1997, 5.)

## 2.4 Puutavaralajit ja erilaiset käyttötarkoitukset

Tavaralajeilla tarkoitetaan yhdestä rungosta saatavia erilaisia saha-, vaneri- ja pikkutukkeja, kuitupuuta sekä energiakäyttöön menevää puuta, jotka ovat tarkoitettu eri käyttötarkoituksiin (UPM 2023a). Sahatukiksi kutsutaan tukkia, joka täyttää saha- tai vaneritukkien mitta- ja laatuvaatimukset. Sahatukiksi tarkoitettujen puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimukset vaihtelevat yhtiö- ja sahakohtaisesti, samoin tavaralajien nimet. Kuusella tyypillisesti käytettyjä tavaralajeja ovat kuusisorvi, kuusisahatukki ja pikkutukki, kun taas männyllä vastaavasti käytetään mäntysahatukkia, joka pitää sisällään a-tyvi-, b-tyvi-, väli- ja latvatu-kin. Koivutukista käytetään nimitystä koivuvaneritukki. (UPM 2023b.)

Sahatukit katkotaan yleensä kolmen desimetrin moduulimitoituksella 3,1–5,8 metrin pituuksiin lopputuotteen pituusvaatimusten mukaisesti. Ostaja pidättää myös oikeuden käyttää myös moduulijaosta poikkeavia pituuksia. Havusahatukin katkontavaatimus ilmoitetaan tyypillisesti  $\pm 3$  cm:n tarkkuudella nimellismitasta, mikä tarkoittaa, että tukin pituus voi vaihdella 3 cm suuntaansa. Koivuvaneritukin katkontavaatimus on puolestaan 0–10 cm:n välillä, mikä poikkeaa havutukin katkontavaatimuksesta koivun laadullisten tekijöiden vuoksi. Sahattavan tukin läpimitta on tyypillisesti 10–55 cm:n välillä käyttöpaikasta ja tavaralajista riippuen. Sorvitukia tehdään rungon järeimmästä osasta läpimittavälillä 18–75 cm. Maksimiläpiva- ja tyviläpimitta mitataan kuoren päältä rungon paksuimmalta



puolelta. Tavaralajikohtaiset rajat on määritelty oksien laadulle sekä maksimilämpötilalle. (UPM 2023b.)

Sellu- ja paperitehtaat käyttävät raaka-aineenaan kuitupuuta, jota kutsutaan myös nimillä sellupuu, massapuu, paperipuu ja hiokepuu. Kuitupuu on tärkeä raaka-aine sellu- ja paperiteollisuudessa. Myös energiantuotantoon kuitupuu soveltuu hyvin, ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi biopolttoaineena tai lämmöntuotantoon. Kuitupuuhun käytetään puutavaralajeja, joiden mitta tai laatu eivät täytä sahatukin vaatimuksia. Kuitupuun pituusmittavaatimukset ovat tavaralajikohtaisia, ja ne voivat vaihdella suurestikin. Joillakin tavaralajeilla kuitupölkyt katkotaan tarkasti määrämittaan, ja tässä tapauksessa katkontavaatimus on yleensä  $\pm 3$  cm:n nimellismitasta. Toisilla tavaralajeilla kuitupuut katkotaan vapaasti minimi- ja maksimipituuden välillä, jolloin katkontavaatimukset voivat olla hyvinkin erilaisia. (UPM 2023b.) Kuitupuulle on määritetty omat mitta- ja laatuvaatimuksensa, jotka riippuvat valmistettavista lopputuotteista.

### **3 Hakkuukonemittaus ja katkonta**

#### **3.1 Hakkuukonemittaus**

Hakkuukonemittaus on vakiintunut viimeisten vuosikymmenten aikana käytetyimmäksi mittausmenetelmäksi Suomessa. Vuonna 2021 mittausmenetelmän osuus pystykaupalla korjatusta puumäärästä oli 86,7 %. (Metsäteho 2022.) Hakkuukonemittauksen tavoitteena on ollut alentaa mittaus- ja puunhankintakustannuksia samalla kun mittauksen objektiivisuutta, tarkkuutta ja luotettavuutta on pyritty parantamaan. Puunkorjuun yhteydessä harvesteri mittaa jokaisen rungon nopeasti ja tarkasti sekä muodostaa tavaralajikohtaiset tuotantotiedot. Näistä tiedoista muodostetaan puunmyyjälle mittaustodistus, joka todistaa leimikon korjauksen sekä mittauksen noudattavan lakia. (Uusitalo & Kivinen 2023, 127.) Hakkuukoneen reaaliaikaisilla tuotantotiedoilla tehostetaan myös varastojen sekä materiaalivirtojen ohjausta, tavaralajien sijainti sekä määrä on aina tiedossa (John Deere Forestry 2018).

Suomessa on säädetty laki jalostamattoman puutavaran mittauksesta, joka määrittelee mittausmenetelmät ja mittauslaitteiden vaatimukset puun mittauksessa. Lainsäädäntö jalostamattoman puutavaran mittauksesta asettaa tarkat vaatimukset harvesterin mittaukselle. Tavoitteena on varmistaa mittauksen luotettavuus ja oikeellisuus, jotta puukauppa on oikeudenmukaista ja kaikki osapuolet voivat luottaa mittauksen tuloksiin. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.)

Hakkuukonemittauksen riittävä taso on erittäin tärkeää, sillä virheellinen rungon läpimitta- ja pituustieto vaikuttavat runkokäyräennusteisiin ja katkonnan optimointiin. Tämä puolestaan saattaa johtaa siihen, että katkotut tukit eivät vastaa haluttua pituus-läpimitta-luokkaa tai että rungon latvaosaa ei voida enää katkoa järkevästi virheellisen runkoennusteen vuoksi. Tämä voi johtaa arvonalenemiin ja siihen, että parhaimmat osat rungoista katkaistaan epäedullisesti. Ammattitaitoinen harvesterinkuljettaja huomioi tarkkuuteen vaikuttavat tekijät ja minimoi virhemahdollisuudet päivittäisessä työskentelyssään.

### **3.2 Läpimitta**

Harvesterin mittalaite mittaa prosessoitavan rungon läpimitan 1 cm:n välein syötön ja karsinnan aikana ja anturointi on yhdistetty harvesteripään karsimateriin tai syöttörulliin. Karsimateriin asennetut läpimitta-anturit mittaavat teräkulman, ja sen perusteella automatiikka laskee rungon läpimitan. Karsimateriaien sijainti toistensa suhteen mahdollistaa rungon mittauksen kahdella anturilla ristiin. (John Deere Forestry 2022a, 50.) Syöttörulliin kytketty läpimitan anturointi mittaa puun halkaisijan lineaarisesti ainoastaan yhdestä suunnasta. Tämä johtuu siitä, että anturi on asennettu syöttörullien sylinteriin, ja se mittaa puun halkaisijan pelkästään siitä kohdasta, mikä sattuu olemaan rullien välissä. (John Deere Forestry 2022b, 63.) Syöttörullien vetopinnan painauma vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen, ja siksi tämä mittausmenetelmä ei ole yhtä tarkka kuin karsimateriin asennettu anturointi.

Rungon halkaisija mitataan 1 mm:n tarkkuudella, ja mittausmenetelmä huomioi rungon muodonmuutokset erittäin tarkasti. Runkoprofiilin muodostamisen periaate on, että puun paksuus ei kasva missään vaiheessa tyvestä latvaan edessä (Sipi 2009, 117). Runkoprofiilin avulla lasketaan puun tilavuus 10 cm:n pituisissa kappaleissa, joista muodostetaan pölkyn tilavuus laskemalla yhteen kaikkien kappaleiden tilavuudet. Mittausmenetelmä on samanlainen kaikille puulajeille.

Puun ensimmäisen katkaistun kappaleen eli tyvipölkyn tilavuusmittaus eroaa hieman muun rungon osan tilavuuden laskennasta. Tämä johtuu siitä, että läpimitan mittausta ei voida tehdä aivan puun kaatosahauksen kohdalta, koska läpimitan anturointi sijaitsee yleensä harvesteripään etu- tai keskiosassa. Tyvikappaleen tilavuudenmittaus 130 cm:n pituuteen saakka suoritetaan käyttämällä kiinteitä puulajikohtaisia tyviprofiilifunktioita. (Sipi 2009, 115–116).

### **3.3 Pituudenmittaus**

Pituudenmittauksella on merkittävä vaikutus rungon jalostusarvoon, sillä tarkkaan katkotut kappaleet mahdollistavat rungon tehokkaan hyödyntämisen ja vähentävät hävikkiä. Harvesteripäissä käytetään erilaisia tapoja mitata rungon pituus valitun mittaustavan mukaan. Pituudenmittaus voidaan toteuttaa joko erillisellä mittarullalla tai vaihtoehtoisesti syöttörullan avulla, tyypillisesti pituudenmittaus tapahtuu erillisellä pituusmittalaitteella. (John Deere Forestry 2022b, 74–76.)

Pituusmittalaite sijaitsee harvesteripään pohjassa ja koostuu mittavarresta, laakeroidusta mittapyöräkoonpanosta, 2-toimisesta hydraulisyylinteristä ja anturista. Mittavartta ohjataan hydraulisyylinterillä, jonka tehtävä on ohjata mittapyörää puunrunkoa vasten kaatosahauksen yhteydessä ja säilyttää tasainen kontakti syötön aikana. Rungon päättämisen yhteydessä mittapyörä ohjataan suojaan harvesteripään sisään, jotta se ei vahingoitu uuteen puuhun tartuttaessa. Tämä suojaa mittapyörää mahdollisilta vaurioilta ja varmistaa sen toiminnan seuraavan mittauksen aikana. (Sokka 2000, 50.)

Mittapyörä on olennainen osa harvesteripään pituusmittalaitetta, sillä sen tehtävänä on mitata puun pituus tarkasti karsinnan aikana. Mittapyöriä on kehitetty huomioimaan eri puulajien kovuus ja kuoren paksuus, sillä nämä tekijät vaikuttavat katkontatarkkuuteen ja luotettavuuteen pituusmittauksessa, joten on tärkeää valita korjuuolosuhteisiin sopiva mittapyörä. Mittapyörän toiminta perustuu kontaktiin puun runkoa vasten. Syötön aikana mittapyörä pyörii ja pulssianturi lähettää tietoa mittapyörän pyörimisestä mittalaitteelle, mittalaitte laskee puun pituutta edellisestä sahauskohdasta. Mittapyörän kuntoa on tarkkailtava säännöllisesti ja tarvittaessa vaihdettava uuteen, jotta varmistetaan tarkka ja luotettava pituusmittaus jokaisella syöttökerralla.

Pituusmittatarkkuuteen vaikuttavia olosuhdetekijöitä on useita. Merkittävä epätarkkuustekijä pituudenmittauksessa on mittapyörän laskennallisen halkaisijan vaihtelu. Mittapyörän painuminen puunrunkoon kovuuden tai kontaktivoiman vaihteluiden takia johtaa epätarkkuuteen mittauksessa. Kovemman solukon kohdat, korot ja oksakyhmyt puun pinnalla pidentävät mittakehän kulkemaa matkaa verrattuna puun todelliseen pituuteen. Vastavuoroisesti mittapyörän painuminen johtaa mittakehän kulkeman matkan lyhenemiseen. Nopeat olosuhde-muutokset, kuten lämpötilan vaihtelut, vaikuttavat myös mittatarkkuuteen. Kevättalvella mittapyörä uppoaa sulassa puussa syvemmälle kuin jäisessä puussa, ja päivän auringonpaisteen ja pakkasyön lämpötilaero voi olla merkittävä. Mittapyörän ja puunrungon väliin voi myös mennä kuoren palasia tai oksia, jotka pahimmillaan estävät mittapyörän pyörimisen. Mittapyörän kontaktivoimaan vaikuttavat paitsi harvesteripään tekninen kunto ja asetukset, niin myös kuljettajan työtapa. Työtapaan sekä puustolle sopivat harvesteripään säädöt mahdollistavat vakaat olosuhteet mittapyörän kontaktivoimalle. (Sokka 2000, 22.)

### **3.4 Katkannon ohjaus**

Puunhankinnassa hakkuukoneen katkannon ohjaus on tärkeä osa, jonka avulla pyritään hallitsemaan puutavaralajien määriä ja laatua. Erityisesti mekaaninen metsäteollisuus, kuten sahat ja vaneritehtaat, toimivat nykyään tilauskantaan

perustuen. Tämä tarkoittaa sitä, että heillä on jo etukäteen tieto siitä, milloin ja millaista puutavaraa tarvitaan metsästä. Tavoitematriisin laadinnassa otetaan huomioon saatavilla olevien varastojen ja tulevien hankintojen puulajit ja niiden mitat. Koska varastotietoja ei ole saatavilla pitkälle tulevaisuuteen, voidaan käyttää historiatietoja tukkisummista ennusteiden tekemiseen. Simuloinnin avulla pyritään luomaan realistinen tukkien tavoitematriisi, joka vastaa saatavilla olevaa varantoa. Asiakaslähtöisessä puunhankinnassa katkonnan ohjauksen rooli on merkittävä, sillä sen avulla varmistetaan, että oikeanlaisia puutavaralajeja saadaan toimitettua tehtaille oikeaan aikaan. (Tujula 2023.)

Katkonnanohjauksella pyritään saavuttamaan tehtaan antama tukkimatriisin tavoitejakauma, mutta tämä ei aina ole mahdollista epätäydellisen informaation, leimikoiden laatuvaihtelun ja puukaupan ehtojen vuoksi. Tästä syystä katkonnan suunnittelussa päätetään, mitä tavaralajeja katkotaan miltäkin alueelta ja millaisilta leimikoilta. Tämän jälkeen laaditaan varsinaiset katkonnan ohjeet, eli matriisit ja rajoitteet, joita noudattamalla pyritään mahdollisimman hyvään lopputulokseen. Katkonnan ohjauksen ja matriisien laatimisen hoitavat yleensä yksittäiset henkilöt. Tavoite- ja hintamatriisien laatiminen ja muuttaminen perustuu pitkälti näiden katkonnan ohjaajien kokemukseen ja ammattitaitoon. Heidän tehtävänä on varmistaa, että katkottavat tukit vastaavat tehtaan tarpeita ja tavoitteita mahdollisimman hyvin huomioiden samalla myös leimikoiden rakenteen ja puukaupan ehdot. (Tujula 2023.)

Kun harvesteri katkoo puun rungon eri puutavaralajeiksi, samalla määräytyy mihin pölkyt menevät ja millaisia tuotteita niistä valmistetaan. Vaikka samasta tukkikappaleesta voidaan valmistaa erikokoisia tuotteita, on tärkeää käyttää tiettyä tukin halkaisijaa, jotta sahan tehokkuus saavutetaan optimaalisesti. (Uusitalo & Kivinen 2023, 23.) Sahausasetuksille optimaalisen läpimitan omaavat tukit tuottavat sahalta eniten jalostusarvoa, joten puunhankintaketjulle on tärkeää katkoa ne sopivassa leimikossa ja puustossa. Jalostusarvo tarkoittaa tuotannon aikaansaamaa arvoa, joten tukin jalostusarvo on se arvo, joka saavutetaan valmistamalla siitä esimerkiksi sahatavaraa.

Rungonkäsittelyn yhteydessä runkoprofiilin ennustaminen perustuu yleensä matemaattisiin malleihin ja harvesterin tietokannassa oleviin runkokäyriin. Matemaattisia malleja käytettäessä rungon muoto lasketaan ensimmäisten mittauksien perusteella, ja mallia tarkennetaan toteuman sekä kehittyvän runkoprofiilin avulla. Ennustetietokanta koostuu yleensä viimeksi kaadettujen puiden mitatuista runkomuodoista läpimittaluokittain. Runkopankkimenetelmässä etsitään ensimmäisten mittausten perusteella vastaavaa puuta ennustetietokannasta ja käytetään sen runkomuotoa. Tietokone optimoi katkontaa tavoitematriisiin mukaisesti ja ehdottaa automaattisesti katkaisukohtia ennustetun runkokäyrän perusteella kuljettajalle. Katkonnan edetessä automatiikka tarkistaa, ovatko mitaukset pysyneet ennusteen mukaisina. Mikäli ennuste poikkeaa mittauksista enemmän kuin raja-arvot sallivat, lasketaan uusi ennuste ja suoritetaan optimointi uudelleen. (Suonurmi 2023.)

Tavaralajimenetelmän hakkuukoneiden katkonnanohjaus ja optimointi perustuu arvoapteeraukseen tai arvo- ja jakauma-apteerauksen yhdistelmään. Arvoapteeraus perustuu arvomatriisiin eli hintalistaan, joka sisältää suhteelliset hintatiedot eri tavaralajeille eri läpimitta- ja pituusluokissa. Suhteelliset hinnat perustuvat tuotantolaitoksen tavaralajin läpimitta- ja pituusluokan jalostusarvoihin. Hakkuukoneen mittalaitteessa optimointialgoritmit käyttävät suhteellisia hintatietoja etsiessään arvokkainta katkontayhdistelmää ennustetulle runkomuodolle. Kun runkoa käsitellään, automatiikka ehdottaa kuljettajalle optimaalisia katkaisukohtia. Arvoapteerauksessa halutut läpimitta- ja pituusluokat saavat suuremman hinnan kuin vähemmän halutut. Tämä ohjaa kuljettajaa valitsemaan katkaisukohdat siten, että mahdollisimman paljon haluttuja tavaralajeja saadaan aikaan. Arvoapteeraus optimoi vain yhtä runkoa kerrallaan eikä ota huomioon leimikolta kertynyttä jakautumaa kokonaisuudessaan. (Tujula 2023.)

Jakauma-apteerauksessa pyritään maksimoimaan tukkiosuus ja samalla huomioidaan tuotantolaitosten tavoitejakauma. Apteeraustiedostoon määritellään säätömenetelmä sekä poikkeamarajat, joita enempää harvesterin automatiikka ei voi muuttaa alkuperäisiä arvomatriisin arvoja. Mukautuvassa arvomatriisissa arvoja muutetaan, jos jonkin kokoluokan suhteellisen osuus jää liian alhaiseksi tai suureksi, jotta tukkiosuutta voidaan hyödyntää ja välttää huono apteeraus.

Lähes optimaalinen menetelmä perustuu useiden katkaisuvaihtoehtojen olemassaoloon, jotka poikkeavat arvoltaan vain vähän toisistaan, ja automatiikka valitsee vaihtoehdoista sen, jonka pölkyistä on eniten puutetta ja jonka poikkeama optimaalisesta katkonnasta on ennalta määritellyissä rajoissa. (Tujula 2023.)

### 3.5 StanForD 2010

Hakkuukoneiden kyky kerätä standardoitua tietoa normaalin hakkuutyön yhteydessä on yksi niiden merkittävimmistä ominaisuuksista. Metsäkoneen tietojärjestelmä muodostaa StanForD 2010 - standardin mukaiset tiedot, jotka koostuvat monesta eri tiedostosta; tuotanto, työaika- ja tuottavuustiedoista, mittalaitteiden ja kuormainvaakojen tarkastus- ja kalibroititiedoista, mittaustarkkuuden seurantaraporteista, koneella työn yhteydessä kerätyistä paikkatiedoista, korjuulaadun omavalvontatiedoista ja -raporteista sekä korjuun laskutusperusteista. Lisäksi metsäkoneiden tuottamat tiedot sisältävät konemerkkikohtaiset ja standardisoimattomat tiedot, kuten polttoaineen kulutuksen, koneen sijainnin ja tilatiedot sekä teknisiin toimintoihin kuten diagnostiikkaan tai huoltoon liittyvät tiedot. Aineiston tuottaminen on kustannustehokasta eikä se juurikaan vaikuta kuljettajan työskentelyyn tai tehokkuuteen (Jylhä ym. 2019, 6). Metsäkoneiden tuottama tieto on arvokasta ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi koneiden suorituskyvyn arvioinnissa ja sitä kautta työn tuottavuudessa (John Deere Forestry 2022a, 27).

StanForD 2010 - on uusin metsäteollisuuden käyttöön kehitetty tiedonsiirtostandardi, joka perustuu XML-esitystapaan. Standardi syntyi pohjoismaisena yhteistyönä ruotsalaisen Skogforskin johdolla ja lanseerattiin vuonna 2010. Se on vähitellen vakiinnuttanut paikkansa johtavien konevalmistajien keskuudessa. StanForD 2010 - standardin tavoitteena oli päivittää metsäkoneiden tiedonsiirtostandardi vastaamaan nykyaikaisen tiedonsiirron tietoteknisiä vaatimuksia ja mahdollistaa rajapintayhteensopivuus kaupallisten tuotteiden kanssa. (Skogforsk 2021.) Harvestereiden katkontaa ohjataan useimmiten StanForD - standardin

mukaisilla katkonnanhjaustiedoilla. Standardi sisältää useita erilaisia sanomia, joita käytetään eri vaiheissa metsäteollisuuden arvoketjua.

Opinnäytetyössä on hyödynnetty seuraavia Stanford 2010 - standardin mukaisia sanomia. Pin-sanoma (product instruction) joka sisältää tavaralajikohtaiset katkontaohjeet, kuten puutavaralajin yksilöintitiedot, laatuluokan, pituus- ja läpimittaluokat, arvo- jakaumarajataulukon, runkolajin, apteerausehdon, mittaustavan, minimi- ja maksimimitat, hintalistan, tavoitejakauman ja katkontarajoitukset. (Arlinger, Möller, Räsänen & Sorsa 2019, 16.) Oin-sanoma (object instruction) pitää sisällään tiedot leimikosta ja sopimuksesta, toisin sanoen aktiiviset tavaralajit, yhtiön, urakoitsijan ja metsänomistajan tiedot. (Arlinger ym. 2019, 30.) Spi-sanoma (species group instruction) käsittää puulajien ja lajiryhmien tiedot, rinnankorkeusläpimitan, mittauslain määrittelemät tyvifunktiot ja mahdolliset laatu-määritelmät sekä kuorenpaksuusfunktiot. (Arlinger ym. 2019, 25.) Hpr-sanoma (harvested production) sisältää hakkuun tuotantotiedot, jotka on jaoteltu runko- ja tavaralajikohtaisesti. Tavaralajikohtaiset tiedot sisältävät mittaustiedot kuten tilavuuden, pituuden, läpimitan ja puulajin. Runkokohtaisesti tiedot sisältävät puun prosessointijärjestyksen, puulajin, sijaintitiedon ja prosessointitavan. Standardi mahdollistaa myös yksittäisten puiden sijainnin tallentamisen hakkuukoneen sijaintiin ja puomin asentoihin perustuen. (Arlinger ym. 2019, 41–42.) Mom-sanoma (operational monitoring) pitää sisällään yksityiskohtaiset työaika- ja tuottavuustiedot (Arlinger ym. 2019, 56–57).

### **3.6 Omavalvonta**

Korjuujäljen laadun varmistaminen on ensiarvoisen tärkeää sekä metsänhoidon että puutavaralajien kannalta. Ammattitaitoinen puunkorjuu edellyttää hyvää suunnittelua, ohjeita, osaamista ja huolellista toteutusta. Korjuulaatua valvovat monet eri tahot, joista hakkuu- ja ajokoneen kuljettajat ovat keskeisessä roolissa. Korjuuyritykset tekevät tuhansia tarkistuksia vuosittain ja sitoutuvat omavalvontaan yhteneväisten menettelyjen ja ohjeistusten avulla. Mittalaitteen oikeaoppinen käyttö, mittaustarkkuuden seuranta sekä mittauksen oikeellisuuden



varmistaminen ovat urakoitsijan vastuulla. Näin varmistetaan vastuullinen puunhankinta ja korjuujäljen laatu. (Tossavainen 2023.)

Harvesterinkuljettajan yksi omavalvonnan osa-alue liittyy mittatarkkuuden käytönaikaiseen seurantaan. Mittalaki edellyttää mittalaitteiden toimivuuden ja käytettävien mittausten menetelmien kontrolloimista. Kuljettajan tulee seurata mittalaitteen teknistä toimintaa säännöllisesti. Työnsuorittajan on myös huomioitava mahdollisten olosuhdemuutosten, kuten lämpötilan ja puuston ominaisuuksien vaikutus, jotta mittaustarkkuus pysyy sallituissa rajoissa eikä systemaattista virhettä esiinny (Kiviniemi 2006, 362).

Harvesterinkuljettaja seuraa pituuden sekä läpimitan mittatarkkuutta omavalvointien runkojen lisäksi mittalaitteen ehdottamalla satunnaisotannalla (Tossavainen 2023). Satunnaisotannan avulla järjestelmä poimii kontrollirunkoja ja tallentaa niiden tiedot HQC-sanomaksi, joka voidaan sitten lähettää mittasaksille läpimitan ja pituuden mittausta varten (John Deere Forestry 2022a, 206). Satunnaisotanta voidaan tehdä valituin väliajoin rungkonumerojärjestyksen tai ajan perusteella. Satunnaisotanta kohdistuu koko perusjoukkoon siten, että kaikilla yksiköillä on mahdollisuus tulla valituksi otokseen (John Deere Forestry 2022a, 211).

Katkontatarkkuuden varmistamiseksi harvesterinkuljettaja suorittaa työvuoron aikana säännöllisesti mittauksia omavalvointisilla pölkyillä. Säännöllisyys ja mitausten määrä perustuvat usein kuljettajan kokemukseen ja vallitseviin olosuhteisiin. (Tossavainen 2023.) Kuljettaja käyttää mittanauhaa pituusmitan tarkistamiseen ja vertaa tuloksia koneen mitaamiin pituuksiin. Mittalaitteen kalibroinnin ja virittämisen tulokset tallennetaan mittalaitteen omavalvontaraporttiin, joka sisältää tiedot tavaralajien mittaeroista ja vaihtelusta sekä mittalaitteen virityksistä.

Katkontatarkkuus kuvaa myös katkonnan onnistumista, vaikka se ei riipu välttämättä pelkästään katkonnan ohjauksesta, vaan ennemminkin kuljettajan ja hakkuukoneen toiminnasta. Katkontatarkkuus kertoo, kuinka suuri osuus tukeista täyttää katkontavaatimuksen ja on annetun katkontaikkunan sisällä.

Ammattitaitoinen harvesterinkuljettaja tunnistaa katkontatarkkuuteen vaikuttavat hakkuuolosuhteet ja toimii kulloisenkin tarpeen mukaan, sillä mittalaitteiden käyttö- ja mittausmenetelmät vaativat tiettyä osaamista ja kokemusta. Kaiken kaikkiaan hakkuukonemittauksen tarkkuuteen vaikuttaa moni tekijä, joiden huomiointi on tärkeää mittauksen luotettavuuden varmistamiseksi.

### 3.7 Tehdasmittaus

Puutavaran tehdasmittauksen yleistymisen johti siihen, että metsäteollisuuskonsernit perustivat erillisiä mittayhtiöitä tai terminaali- ja tehdasmittausyksiköitä. (Metsäteho 2023.) Tehdasmittaus tapahtuu käytännössä puutavaran jalostuspaikalla raaka-aineen vastaanoton yhteydessä, ja sahoille toimitettavat tukit mitataan yksittäin laserskannaukseen perustuvalla tukkimittarilla. Tukkimittari muodostaa tiedot tukin pituuden, latvaläpimitan, lenkouden ja kapeneman (Kiviniemi 2006, 386). Tätä tulosta voidaan hyödyntää jatkossa eri tuotantoprosessin osissa sekä tarvittaessa luovutusmittauksena. Tässä vaiheessa lajittelija määrittää myös silmämääräisen laadituksen kunkin tukin kohdalta (Metsäteho 2023).

Rungon todellisen laadun lisäksi tärkeä laadullinen muuttuja on läpimitta. Vastaanoton yhteydessä sahatukin lajitteluperusteena käytetään läpimittaa, läpimitaluokitusta tarkennetaan tukkilajittelun yhteydessä tarvittaessa muilla muuttujilla. Tarkentavat muuttujat ovat tyypillisesti tukkien pituus, kapeneminen tai lenkous. Tukkiluokkien sahausaseteille on määritelty optimiläpimitat joilla sahaus on tehokasta ja kannattavaa (Vuorenää 1997, 11).

Tukkijakauman ohjauksen kannalta oleellista on myös sahatukkien katkontatarkkuus. Pituuden mittausvirheet aiheuttavat sen, että kaikissa tukeissa ei ole tarvittavaa tasausvaraa ja tukki menee hylkyyn tai optimaalisia sahausasetteita ei voida hyödyntää. (Vuorenää 1997, 20.) Vaikka optimoinnin avulla rungon apteeraus tehdään mahdollisimman tarkasti, silti harvesterinkuljettaja ratkaisee hyvän lopputuloksen huomioidessaan rungon todellisen laadun (Tossavainen 2023).

## 4 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

### 4.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mikä kustannus harvesterinkuljettajan katkontatarkkuuden omavalvonnasta muodostuu urakoitsijalle ja minkälainen katkontatarkkuus omavalvonnalla saavutetaan. Tutkimus oli määritelty tehtäväksi niin, että kustannuksena huomioidaan päivittäisen omavalvonnan sekä ylläpidon vaikutus käyttötuntituottavuuteen. Tutkimus toi mitattua tietoa minkälaista ajankäyttöä katkontatarkkuuden ylläpito vaati, mikä kustannus työstä urakoitsijalle muodostuu, ja minkälainen katkontatarkkuus kuusitukin osalta saavutettiin. Tutkimuksessa keskityttiin myös löytämään tehokas tutkimusmenetelmä, joka mahdollistaa laajemmat jatkotutkimukset aiheen ympärillä.

Tutkimuskysymykset:

- Mitkä ovat katkontatarkkuuden päivittäisen ylläpidon kustannukset?
- Minkälainen katkontatarkkuus saavutetaan omavalvonnalla?

### 4.2 Waratah OM Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Waratah OM Oy, yritys on John Deere Forestry Oy:n sekä Outokummun Metalli Oy:n yhteisyritys. Yrityksen tehtävänä on suunnitella ja valmistaa tavaralajimenetelmän metsäkoneisiin harvesteripäitä. Waratah OM:n valmistamia harvesteripäitä käytetään John Deeren harvesteereissa, ja Waratah-tuotemerkillä myös muiden metsäkonevalmistajien hakkuukoneissa. Waratah OM on alansa johtava toimija, joka tarjoaa näköalapaikan koneellisen puunkorjuun vaatimaan maailmaan ja tuotekehitykseen. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Joensuussa sekä Tampereella, ja yrityksellä on 50 työntekijää.

John Deere Forestry Oy on suomalainen metsäkoneteollisuuden yritys, joka on osa yhdysvaltalaisista Deere & Company -konsernin maarakennus- ja metsäkonedivisioonaa. Yhtiö valmistaa kaikki tavaralajimenetelmän pyöräalustaiset metsäkoneensa tehtaallaan Joensuussa. Konserniin kuuluu myös laaja valikoima kokorunkomenetelmän korjuukalustoa, Deere & Company on maailman suurin metsäkoneiden valmistaja.

## **5 Aineisto ja menetelmät**

### **5.1 Tutkimusmenetelmä**

Opinnäytetyön tutkimusstrategiana käytettiin määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusta. Määrällisessä tutkimuksessa tarkoituksena on ennustaa, selittää, kuvata, verrata tai kartoittaa jokin asia numeerista tietoa hyödyntäen. Määrällinen menetelmä selittää tyypillisesti vastauksen kysymyksiin mikä, kuinka paljon ja kuinka usein. Monesti selvityksen alla on myös eri asioiden väliset riippuvuudet ja säännönmukaisuudet sekä tutkittavassa ilmiössä tapahtuneet muutokset. (Vilkkä 2015, 44.) Menetelmän antamissa tuloksissa pyritään siihen, että tulokset olisivat yleistettävissä koskemaan koko perusjoukkoa. Määrällisessä menetelmässä subjektiivinen tulkinta poissuljetaan käsittelemällä tietoa tilastollisina yksiköinä (Heikkilä 2014, 7).

Tutkimusprosessin eteneminen seuraa suunnitelmaa, joka sisältää vaiheita aineiston keräämisestä, käsittelystä, analysoinnista ja tulosten tulkinnasta. (Heikkilä 2014, 21–23). Aineisto kuvataan esittämällä se graafisesti ja kuvailevin tunnusluvin. Tärkein vaihe tutkimuksessa on tulosten tulkinta, koska se antaa löydöksille merkityksen ja mahdollistaa tulosten vertailun aiemmin olemassa olevaan tietoon. (Nummenmaa ym. 2014, 14–15.)

## 5.2 Tutkimusaineiston hankinta

Aineiston hankinta aloitettiin kartoittamalla opinnäytetyön aiheeseen liittyviä ongelmia ja tutustumalla aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen. Ennen varsinaista aineiston hankintaa laadittiin suunnitelma käytännön toteutuksesta, toteutukseen liittyvistä riskeistä ja riskienhallinnasta. Aloituspalaverissa suunnitelma käytiin läpi opinnäytetyön eri vaiheisiin osallistuvien henkilöiden kanssa. Lisäksi tehtiin testiotanta hakkuukonetiedon keräyksestä ja analysoinnista. Testiotannalla varmistuttiin aineiston keräämisen ja analysoinnin onnistumisesta. Aineiston hankintaa varten oli määritelty etukäteen koeleimikoiden ajankohta, sekä tavoiteltu kuusitukkien kokonaiskuutiomäärä. Tällä varmistettiin aineiston riittävyys ja oikeellisuus. Laadukas ja laaja aineisto on ensiarvoisen tärkeää tutkimustyön onnistumisen kannalta (Hirsjärvi ym. 1997, 155).

Opinnäytetyön aineisto koostui Matti Tossavainen Ky:n hakkuukonetiedoista sekä Iisveden Metsä Oy:n tukkivastaanoton aineistosta. Aineiston hankinta sijoittui hakkuiden yhteyteen Pohjois-Savon alueella syyskuun 2022 ja joulukuun 2022 välillä. Hakkuukoneen ohjausjärjestelmä mahdollistaa useiden erilaisten raporttien luomisen ja tulostamisen tai vaihtoehtoisesti raporttien tallentamisen eri tiedostomuotoihin. Hakkuukoneaineisto tallennettiin seurantajakson osalta Excel-tiedostomuotoon, mikä helpotti laajan aineiston hallintaa ja analysointia.

Aineiston keruun ajankohdan valinnassa huomioitiin, että tukkien tiedot täytyy olla jäljitettävissä leimikolta tukkivastaanottoon asti, jotta ne voidaan varmuudella kohdistaa tietylle hakkuutyömaalle. Tämä tarkoittaa sitä, etteivät tukit ole olleet välivarastossa, vaan kuormattu kokonaan tietyn leimikon varastolta ja toimitettu suoraan sahan tukkivastaanottoon. Kuormissa ei ole ollut muiden leimikoiden tukkeja, eikä niihin ole sekoitettu täyttöä puskurivarastoista. Kuormat oli myös purettu suoraan tukkivastaanoton lajiteltaviksi. Tällaisella menettelyllä tukit voitiin yhdistää sopimusnumerolla hakkuukoneaineistoon. Sahan tukkimittari- ja lajittelutiedot oli tallennettu myös Excel-tiedostomuotoon.

### 5.3 Aineiston analyysimenetelmät

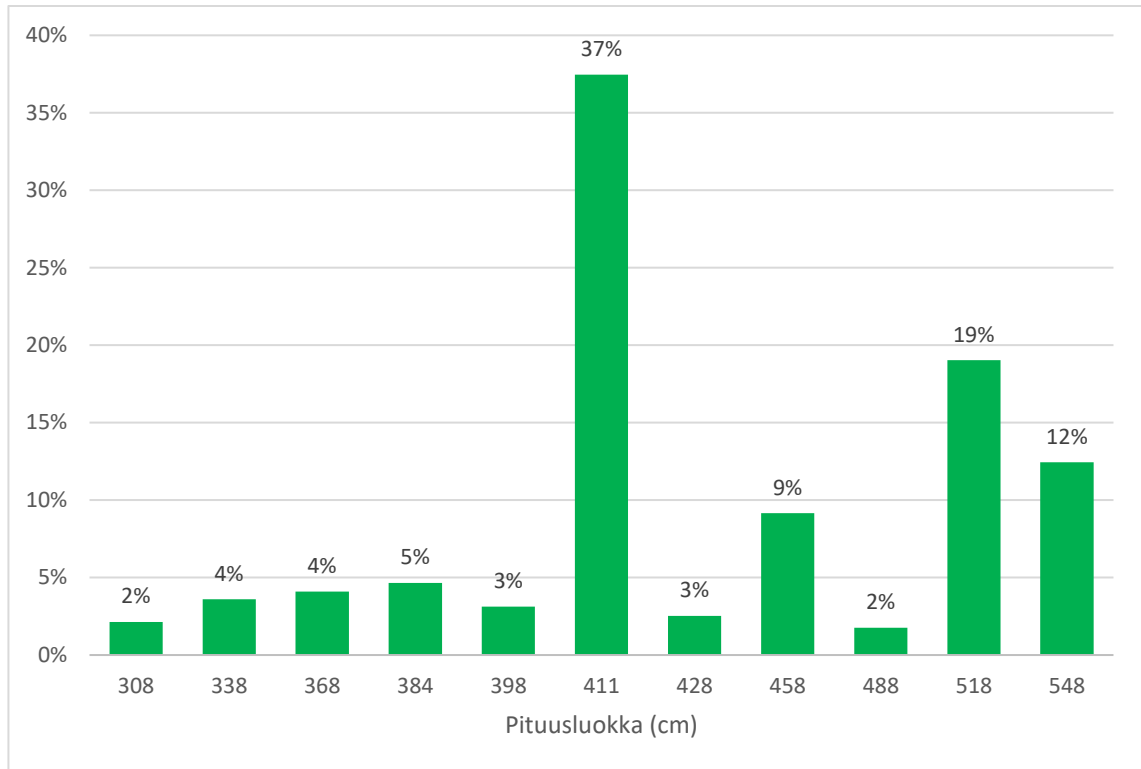
Aineiston analysoinnilla pyrittiin selvittämään, olivatko havaitut erot tutkimuksessa tilastollisesti merkitseviä. Tilastolliseen testaukseen on käytettävissä useita eri testausmenetelmiä, joten oli tärkeää huomioida tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelma analyysimenetelmää valittaessa. Käytettävät mittarit ja niiden mittaustasot vaikuttavat myös analyysimenetelmän valintaan, sillä jokaisella menetelmällä on minimikriteerit, joita ei saa rikkoa. Lisäksi ratkaisuihin vaikuttavat tutkimusongelma ja ilmiön teoreettiset taustaoletukset sekä tekniset rajoitteet. Esimerkiksi taustamuuttujan jakaumaa kuvattaessa voidaan käyttää keskiarvoa, keskihajontaa ja mediaania tunnuslukuina, jotka tiivistävät aineiston tärkeimmät piirteet. (Vehkalahti 2014, 54.)

Tutkimusaineistosta analysoitiin taustamuuttujien keskiarvo, keskihajonta, keskijakauma sekä mediaani Minitabin Anderson-Darling työkalulla. Tulosten analysointiin on käytetty korrelaatioanalyysia, jolla voitiin selvittää kahden taustamuuttujan riippuvuuden voimakkuutta toisiinsa. Korrelaatioanalyysi on erityisen toimiva menetelmä, kun muuttujat ovat määrällisiä ja jatkuvia, eli niitä on mitattu numeerisesti (KvantiMOTV 2004).

## 6 Tulokset

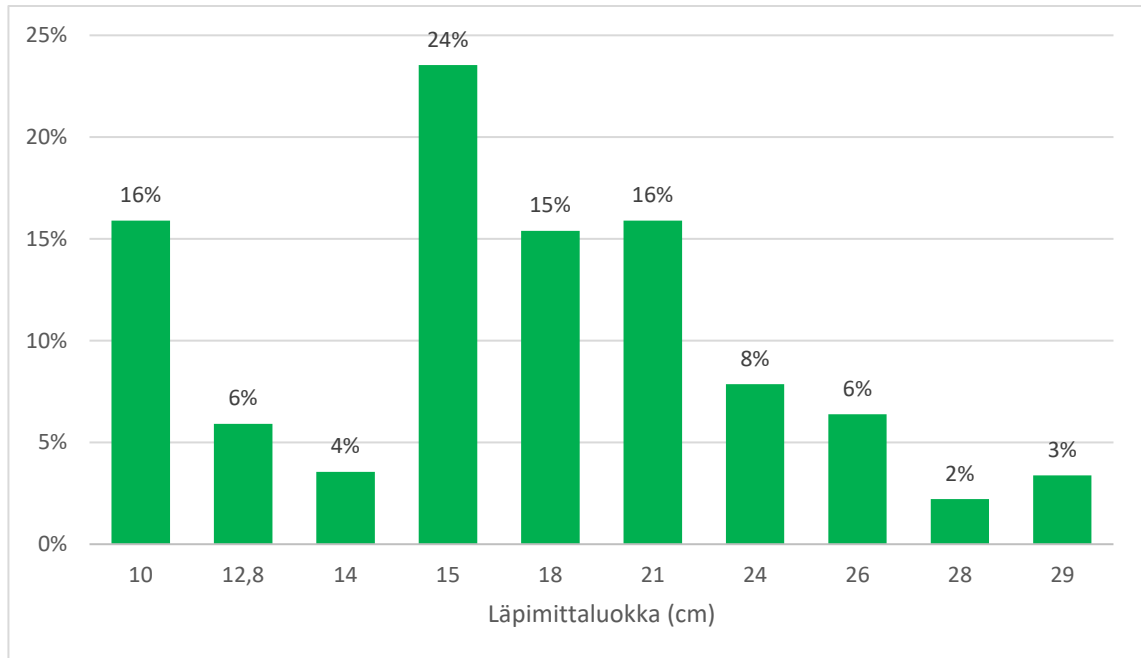
### 6.1 Havaintoyksiköt

Tutkimuksessa havaintoyksikköinä toimivat seurantajakson aikana hakkuun yhteydessä katkotut kuusitukit, jotka toimitettiin sahalle jatkojalostusta varten (n=79 105). Kuusitukkien nimellispituuksista valtaosa (37,5 %) kuului pituusluokkaan 411 cm, pituusluokassa 518 cm oli 19,0 % tukeista, pisimpään pituusluokkaan 548 cm sijoittui 12,4 % ja luokkaan 458 cm 9,2 %. Alle 5 % osuudet jakautuvat seuraavasti, 384 cm 4,7 %, 368 cm 4,1 %, 338 cm 3,6 %, 398 cm 3,1 %, 428 cm 2,5 %, 308 cm 2,1 % ja 488 cm 1,8 % (kuvio 1).



Kuvio 1. Havaintoyksiköiden jakauma pituusluokittain (n=79 105).

Tukkivastaanoton yhteydessä sahatukit on luokiteltu läpimitan perusteella eri läpimittaluokkiin. Havaintoyksiköiden läpimittaluokittelu on tehty 10 luokkaan, jotka jakautuivat seuraavanlaisesti: sahatukeista vajaa neljännes (23,5 %) sijoitui latvaläpimitan perusteella läpimittaluokkaan 15 cm, läpimittaluokassa 10 cm ja 21 cm osuudet olivat 15,9 %, 18 cm:n luokassa 15,4 %, 24 cm:n luokassa 7,9 %, ja luokissa 26 cm 6,4 %, 12,8 cm 5,9 %, 14 cm 3,5 %, 29 cm 3,4 %, 28 cm 2,2 % (kuvio 2).

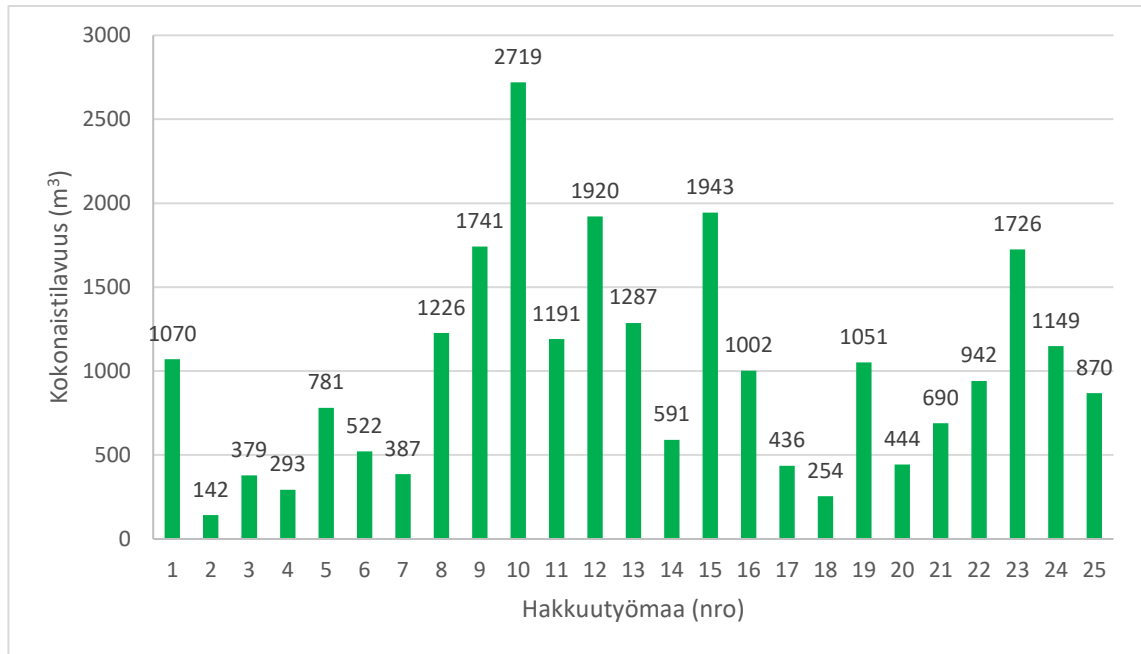


Kuvio 2. Havaintoyksiköiden jakauma läpimittaluokittain (n=79 105).

## 6.2 Taustamuuttujat

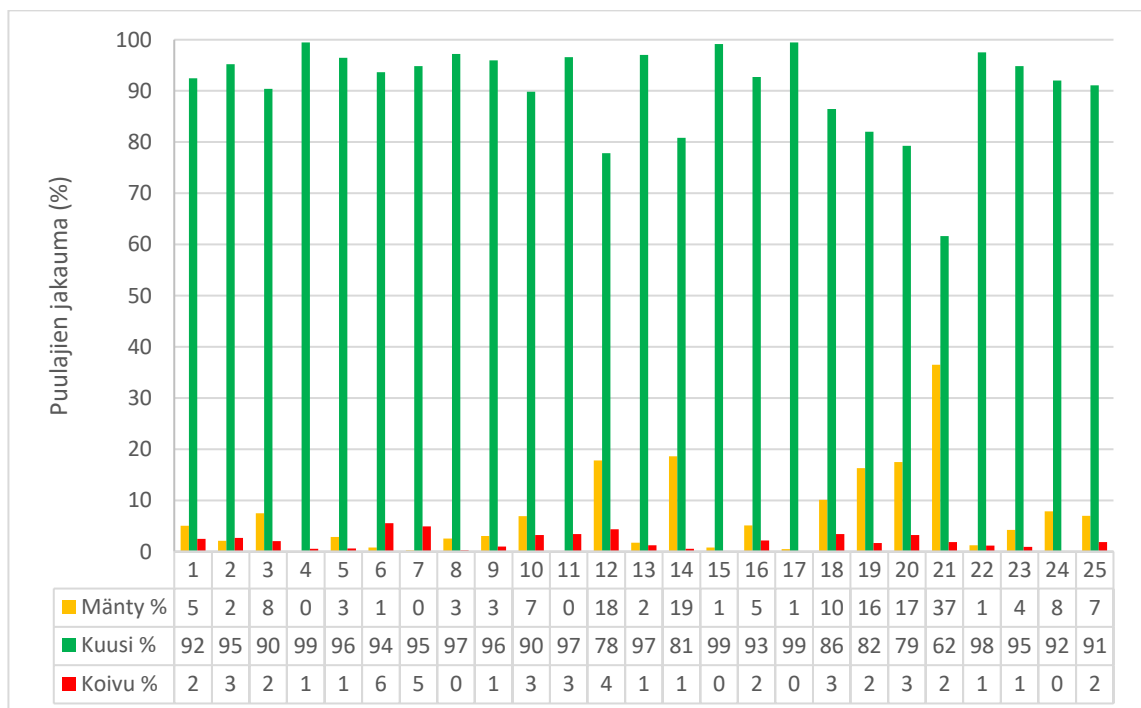
Tutkimuksen taustamuuttujat on määritelty numeerisesti mitattavista leimikko-kohtaisista ominaisuuksista. Aineistoa on kerätty 25 eri työmaalta, joiden kokonaishakkuukertymä oli 24 817,2 m<sup>3</sup> (kuvio 3), ja aineisto koostui 163 249 tukki- sekä kuitupuusta. Hakkuukertymän työmaakohtainen keskiarvo oli 990,2 m<sup>3</sup> ja mediaani 942,2 m<sup>3</sup>.





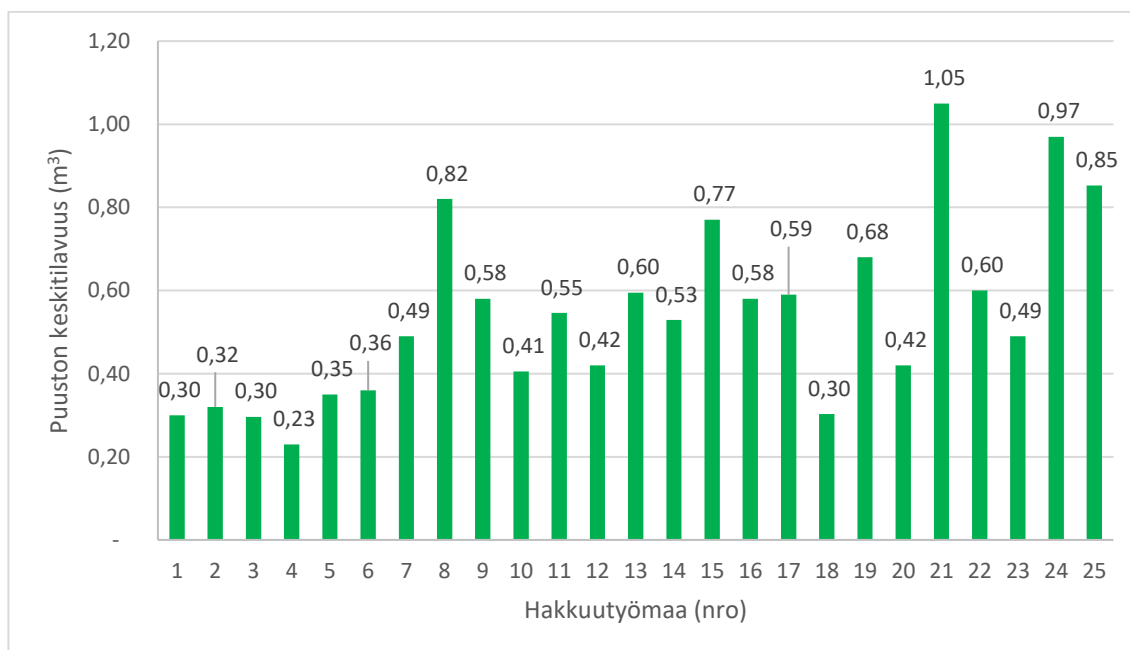
Kuvio 3. Hakkuutyömaakohtainen kokonaistilavuus (m³)

Hakkuutyömaiden puulajisuhteet painottuvat pääosin havupuihin: korjatusta kokonaispuumäärästä valtaosa 91,2 % oli kuusta, männyn osuus 7,0 % ja koivua oli mukana 1,8 % (kuvio 4).



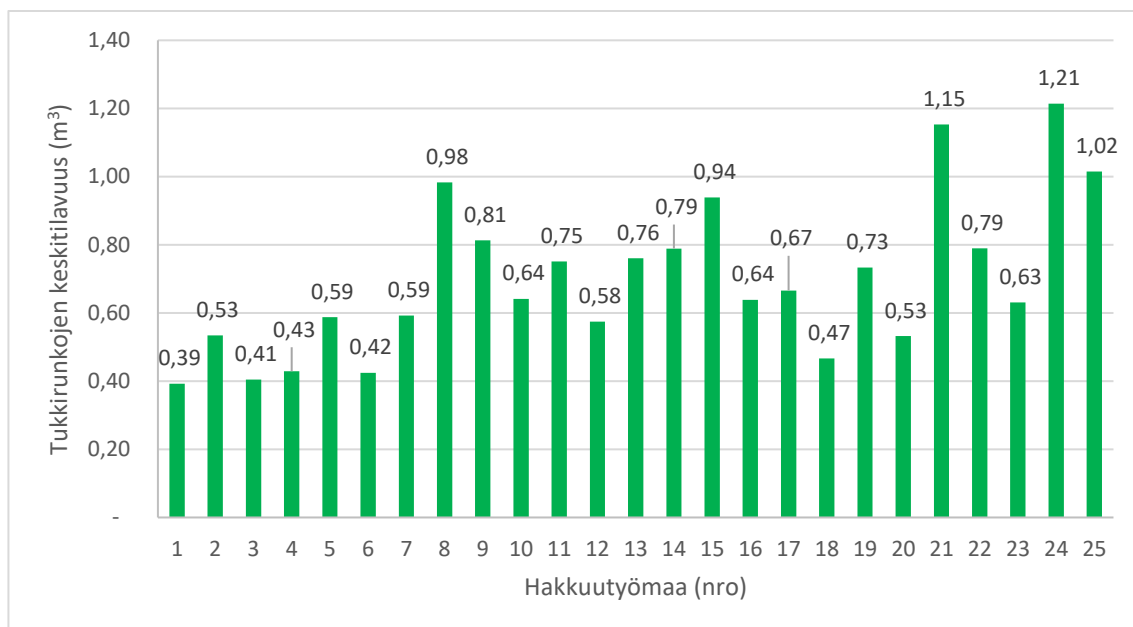
Kuvio 4. Hakkuutyömaakohtaiset puulajisuhteet (%)

Hakkuukohteiden puustotunnuksia on tarkasteltu myös keskitilavuuden suhteen. Aineiston hankintajakson puuston keskimääräinen tilavuus (kuvio 5) vaihteli välillä 0,23–1,05 m<sup>3</sup> ja keskiarvo oli 0,54 m<sup>3</sup> ja mediaani 0,53 m<sup>3</sup>.



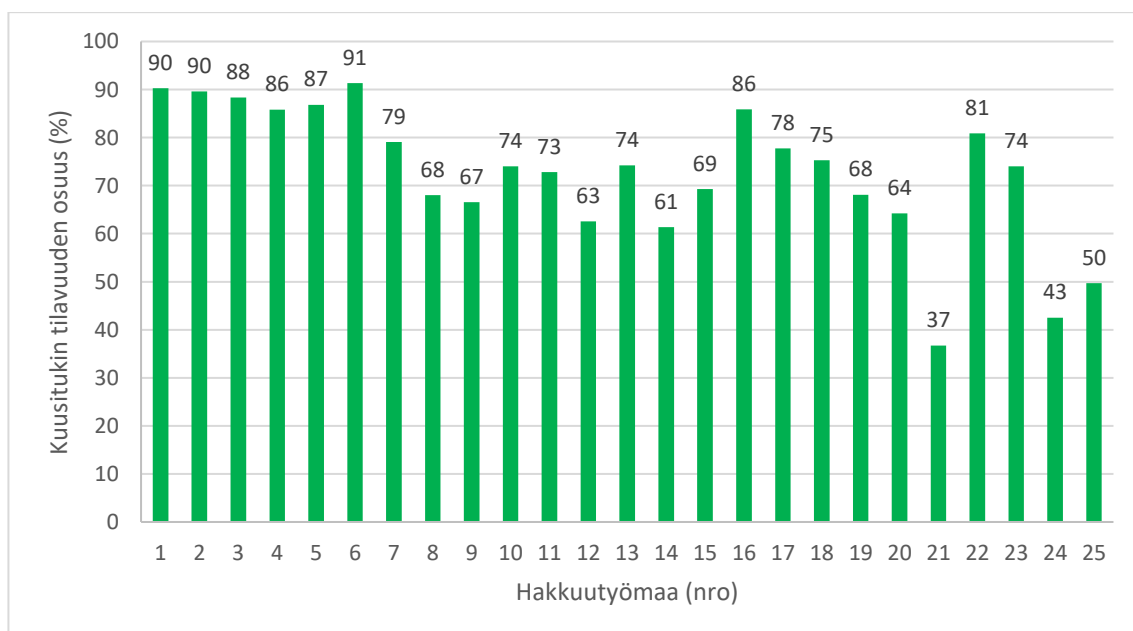
Kuvio 5. Hakkuutyömaakohtainen puuston keskitilavuus (m<sup>3</sup>)

Hakkuukoneen ohjausjärjestelmä määrittää prosessoidut rungot kahteen eri runkolajiluokkaan, tukki- tai kuiturungoksi. Jokaiselle tavaralajille määritetään runkolaji, mistä kyseinen tavaralaji on mahdollista valmistaa sekä mihin runko rekisteröidään. Runkolajin rekisteröinti tavaralajin vaatimusten mukaisesti mahdollistaa tarkemman analyysin sahatukin valmistukseen käytettyjen tukkirunkojen ominaisuuksista. Seurantajakson aineiston tukkirunkojen keskitilavuus oli 0,69 m<sup>3</sup>, mikä on 28 % suurempi kuin hakkuutyömaakohtainen puuston keskitilavuus. Tukkirunkojen keskitilavuuden vaihtelu oli välillä 0,39–1,21 m<sup>3</sup> (kuvio 6), mediaanin ollessa 0,64 m<sup>3</sup>, joka oli 21 % suurempi kuin kokonaispuuston keskimääräisen tilavuuden mediaani.



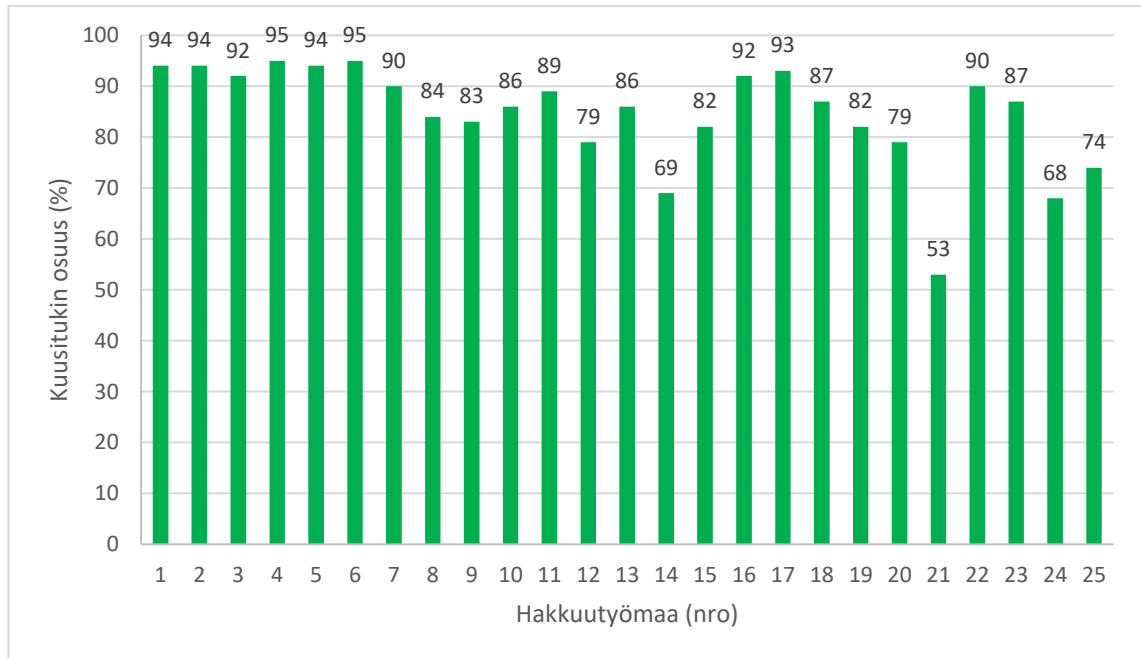
Kuvio 6. Hakkuutyömaakohtainen tukkirunkojen keskitilavuus (m³)

Kuusitukin osuus puulajin määrämittaan katkottujen tavaralajien kokonaistilavuudesta oli 72,6 %, mediaani 74 % ja vaihteluväli 36,7–91,3 % (kuvio 7).



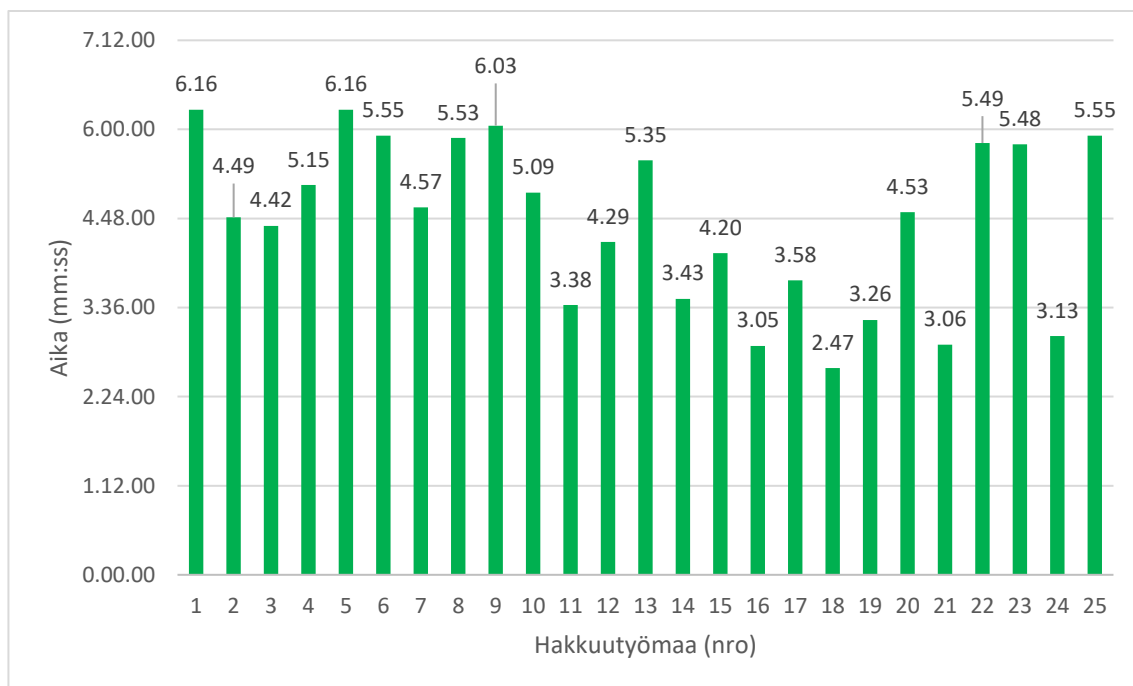
Kuvio 7. Kuusitukin osuus hakkuutyömaan määrämittaisten tavaralajien kokonaistilavuudesta (%)

Kuusitukkeja tarkasteltiin myös määrällisesti suhteessa leimikon muihin määrämittäisiin tavaralajeihin. Kuusitukin keskimääräinen osuus oli 84,7 %, mediaani 87,1 % ja vaihteluväli 52,6 % - 95,4 % (kuvio 8).

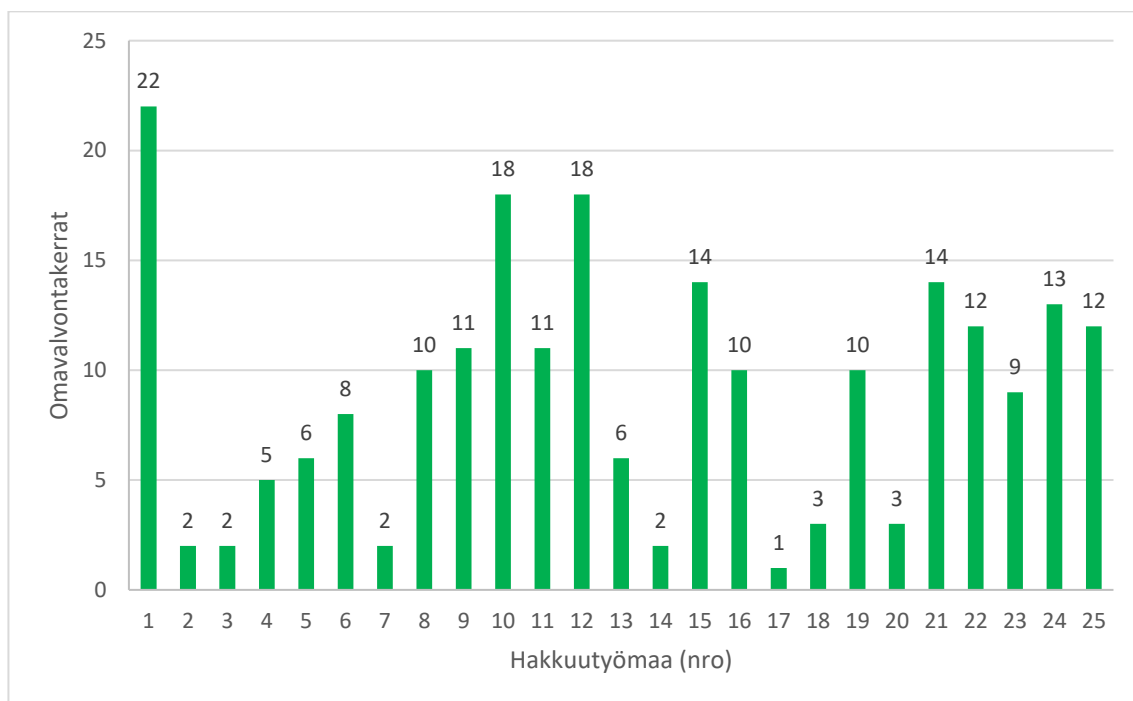


Kuvio 8. Kuusitukin osuus hakkuutyömaan määrämittäisistä tavaralajeista (%)

Katkontatarkkuuden ylläpitoon käytetty hakkuutyömaakohtainen aika yksittäistä omavalvontakertaa kohden oli keskimäärin 4 minuuttia 43 sekuntia (kuvio 9), virhemarginaali 13 sekuntia, ja mediaani 4 minuuttia 53 sekuntia vaihteluvälillä 2 minuuttia 47 sekuntia – 6 minuuttia 16 sekuntia. Katkontatarkkuuden ylläpidon omavalvontakertojen kokonaismäärä hakkuutyömaittain jakautui 1–22 kertaan (kuvio 10).



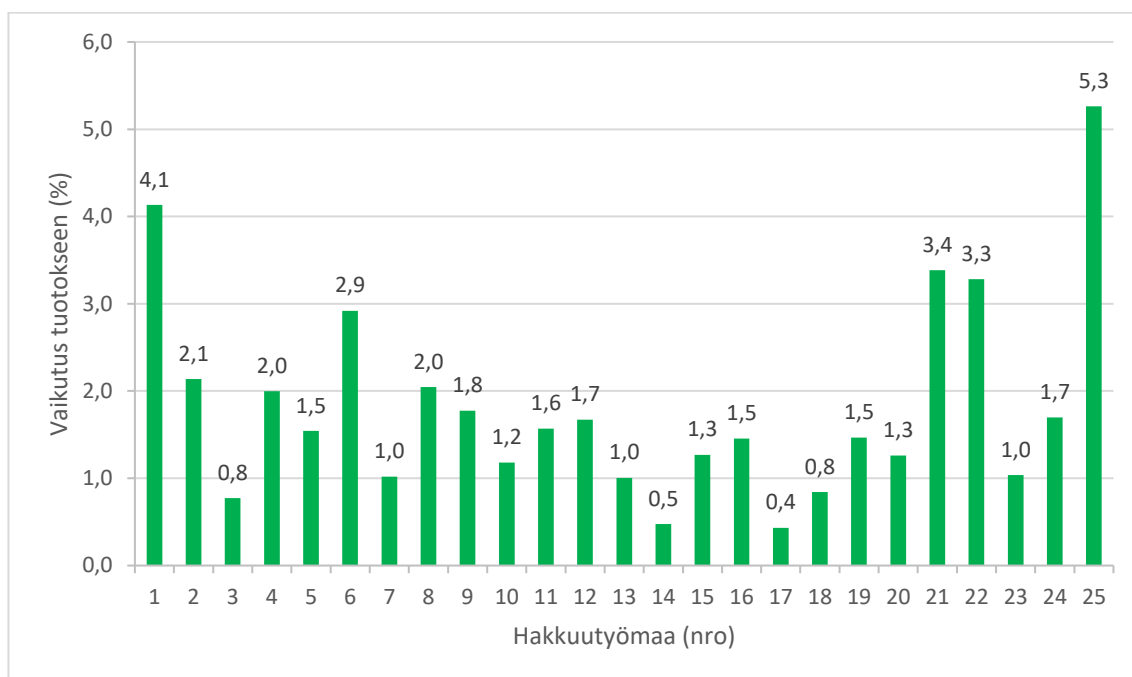
Kuvio 9. Katkontatarkkuuden ylläpitoon käytetty keskimääräinen aika yksittäistä omavalvontakertaa kohden hakkuutyömaittain.



Kuvio 10. Katkontatarkkuuden ylläpitoon käytettyjen omavalvontakertojen määrä hakkuutyömaittain.

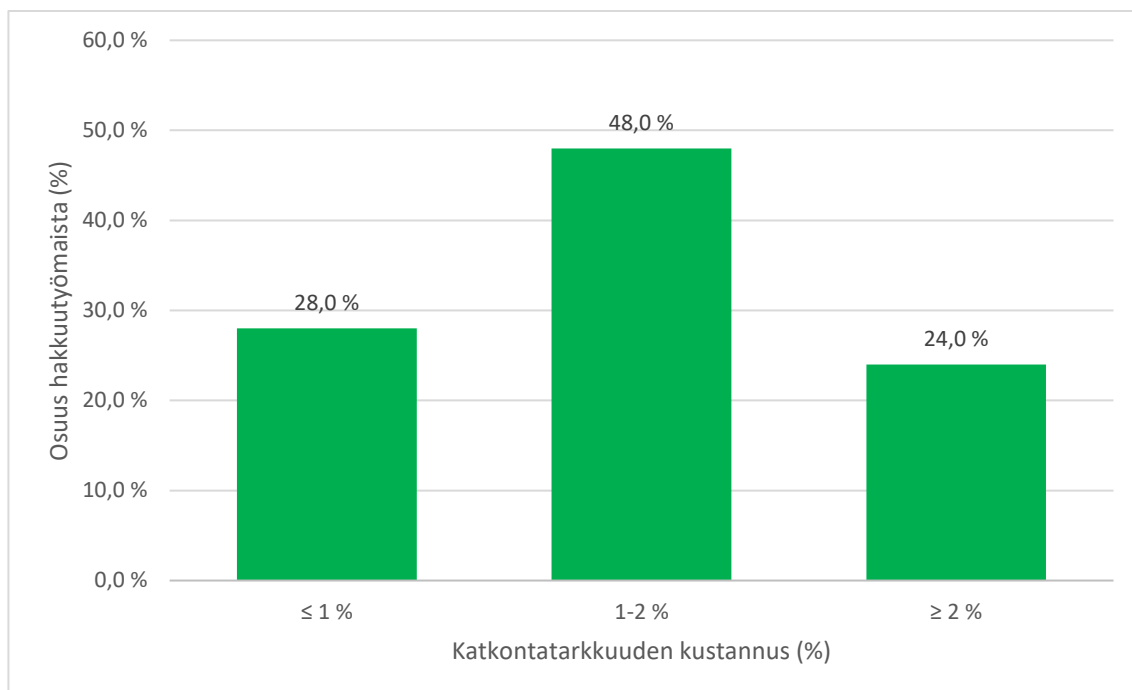
### 6.3 Kustannus ja saavutettu katkontatarkkuus

Katkontatarkkuuden ylläpitoon käytetyn kokonaisajan vaikutus hakkuutyömaakohtaiseen käyttötuntituottavuuteen oli keskimäärin 1,8 % (kuvio 11), virhemarginaali 0,2 %, ja mediaani 1,5 % vaihteluvälillä 0,4 % - 5,3 %. Ylläpidon suhteellinen kustannus muodostuu harvesterin keskituntituotoksesta sekä katkontatarkkuuden ylläpitoon käytetystä kokonaisajasta.



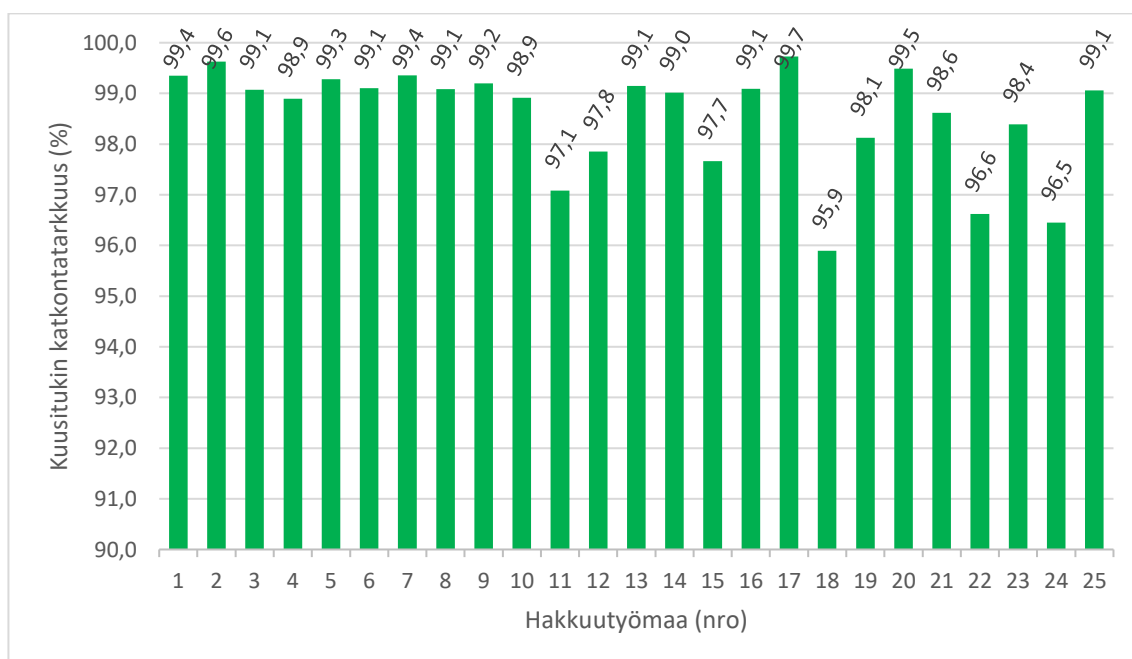
Kuvio 11. Katkontatarkkuuden ylläpidon suhteellinen kustannus (%)

Katkontatarkkuuden ylläpidon kustannukset (kuvio 12) on luokiteltu kolmeen luokkaan. 48 % hakkuutyömaista katkontatarkkuuden kustannus oli 1–2 %, 28 % työmaista kustannus oli pienempi tai yhtä suuri kuin 1 % ja 24 % kustannus on suurempi tai yhtä suuri kuin 2 %.



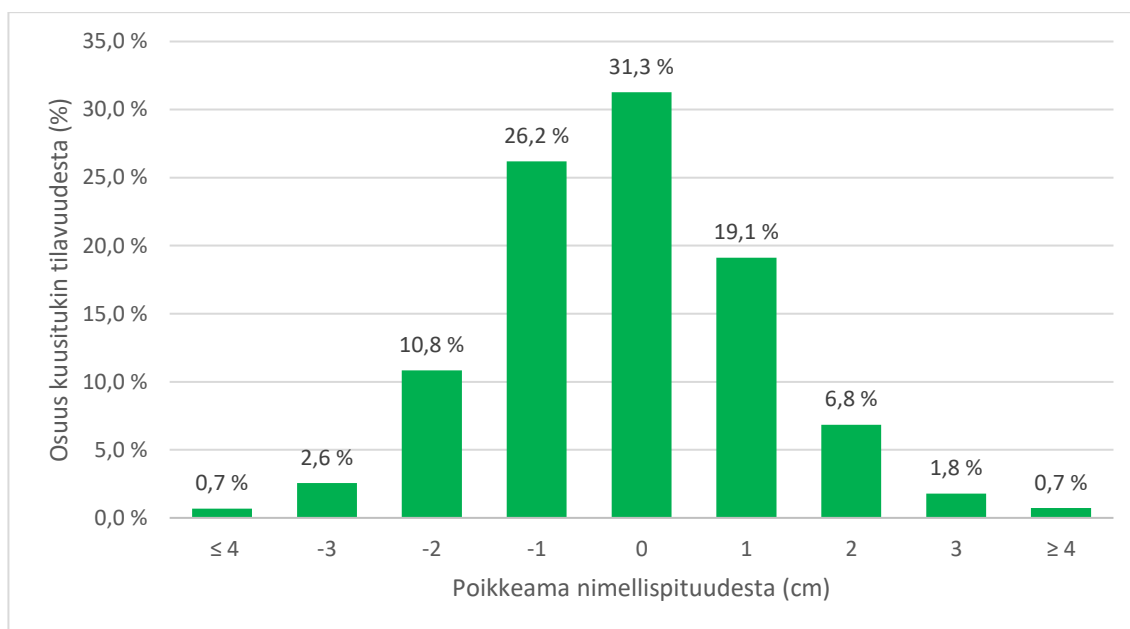
Kuvio 12. Katkontatarkkuuden ylläpidon kustannuksen jakauma (%)

Kuusitukin työmaakohtainen katkontatarkkuus  $\pm 3$  cm:n katkontaikkunalla oli keskimäärin 98,6 % (kuvio 13), virhemarginaali 0,2 %, ja mediaani 99,1 % vaihteluvälillä 95,8 % - 99,7 %



Kuvio 13. Kuusitukin katkontatarkkuus (%)

Kuusitukeista 31,3 % oli tavaralajin nimellimitassa,  $\pm 1$  cm:n katkontaikkunassa 76,6 % ja  $\pm 2$  cm:n katkontaikkunassa oli puolestaan 94,2 % (kuvio 14).



Kuvio 14. Kuusitukin katkontarkkuuden jakauma (%)

#### 6.4 Taustamuuttujien korrelaation riippuvuus tutkimuskysymyksiin

Tutkimusaineistosta analysoitiin mitattujen taustamuuttujien riippuvuussuhdetta korrelaatioanalyysillä. Ennen korrelaatioanalyysiä selvitettiin analysoitavan aineiston normaalijakautuneisuus Minitabin Anderson-Darling normaalisuustestillä, p-arvon tulisi olla yli 0,05 jotta aineisto voidaan olettaa normaalijakautuneeksi, muutoin se tulkitaan vinoutuneeksi. (Taulukko 1).

	p-arvo
Katkontatarkkuuden kustannus (%)	< 0,005
Saavutettu katkontatarkkuus (%)	< 0,005
Tukkirunkojen keskitilavuus (m <sup>3</sup> )	0,264
Kuusitukin keskimääräinen latvaläpimitta (cm)	0,287
Hakkuutyömaan tukkiprosentti (%)	0,367
Kuusitukin keskimääräinen poikkeama (cm)	0,885

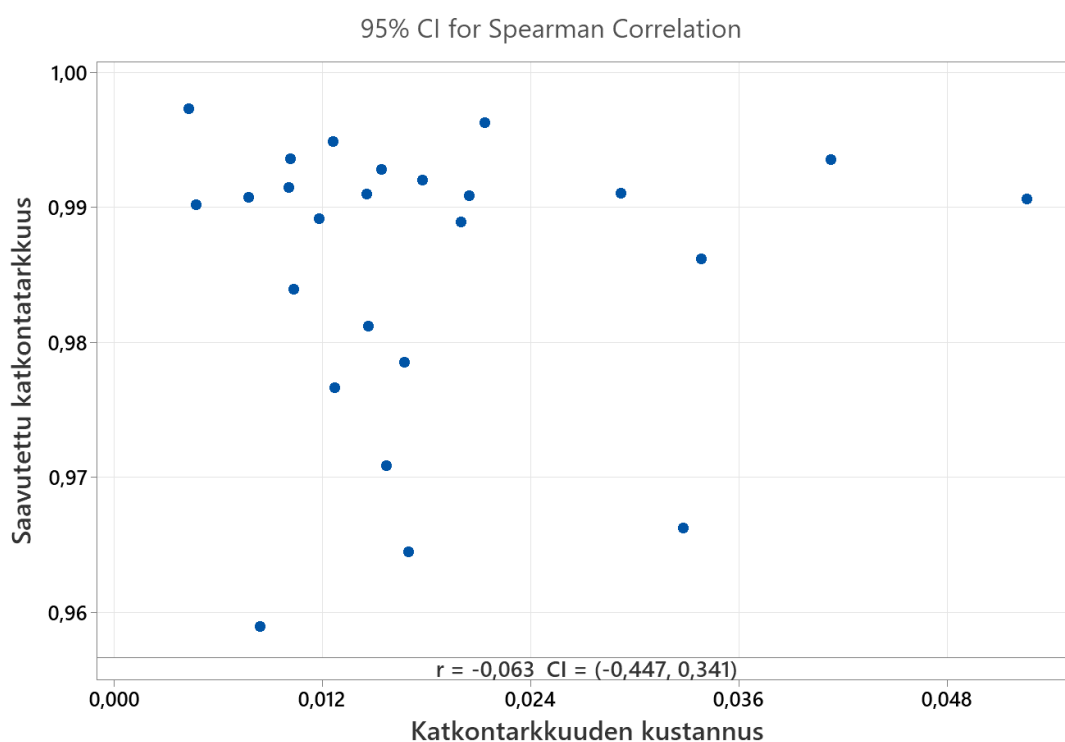
Taulukko 1. Aineiston normaalisuustestin p-arvot.

Aineisto oli osin normaalijakautunutta ja osin vinoutunut, joten muuttujien välistä riippuvuutta tarkasteltiin ei parametrisella Spearmanin järjestyskorrelaatioanalyysillä. Mitä enemmän Spearmanin järjestyskorrelaatioanalyysin kertoimet



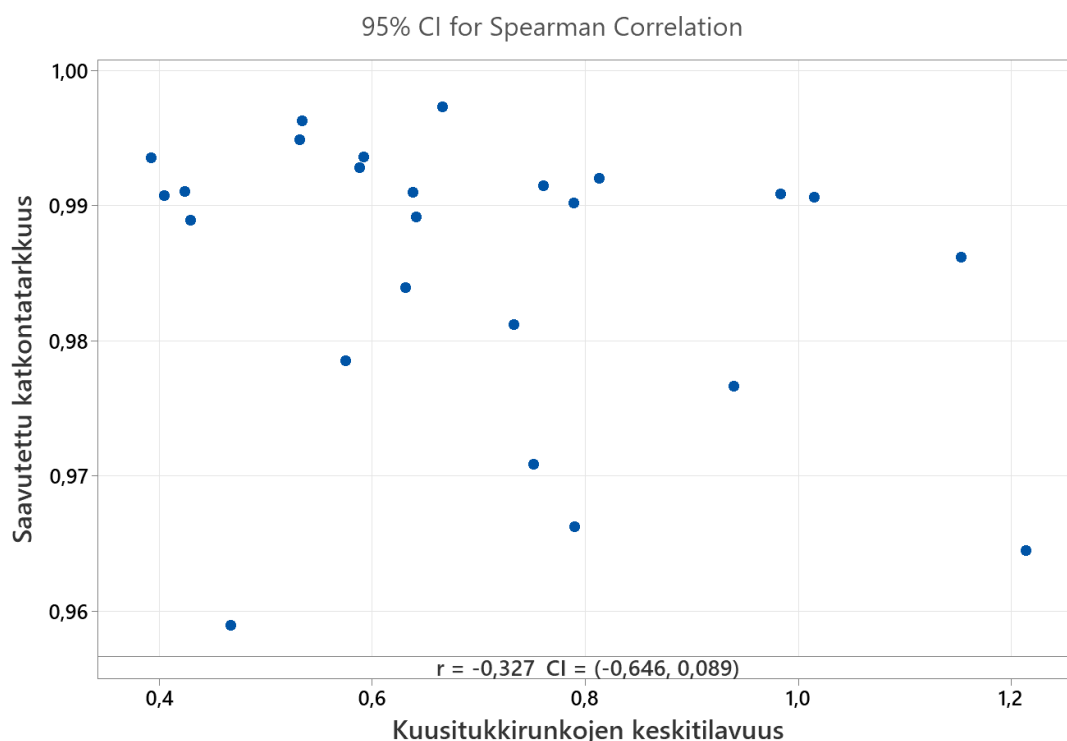
poikkeavat nolasta, sitä voimakkaampi riippuvuus muuttujien välillä on joko positiiviseen tai negatiiviseen suuntaa. Mikäli muuttujien välillä vallitsee täydellinen positiivinen korrelaatio, on korrelaatiokerroin yksi, vastaavasti täydellinen negatiivinen korrelaatiokerroin on miinus yksi. Kun korrelaatiokertoimen arvo lähenee nolaa, heikkenee myös muuttujien keskinäinen riippuvuus. (Heikkilä 2005, 203–204.) Muuttujien välinen riippuvuus testattiin 95 % luottamustasolla.

Katkontatarkkuuden tulokset itsessään olivat erinomaisella tasolla, ja vaihtelu hakkuutyömaiden kesken oli pientä. Korrelaatioanalyysillä on testattu katkontatarkkuuden ylläpidon kustannuksen vaihtelun riippuvuussuhdetta saavutettuun katkontatarkkuuteen. Analyysin perusteella ylläpidon kustannuksella oli erittäin heikko korrelaatio saavutetun katkontatarkkuuden kanssa,  $r = -0,063$  (kuvio 15). Tuloksen perusteella voitiin tulkita, että erinomainen katkontatarkkuus saavutettiin vaihtelevilla ylläpitokustannuksilla eikä katkontatarkkuuden tulos ollut suoraan riippuvainen ylläpidosta muodostuneesta kustannuksesta.



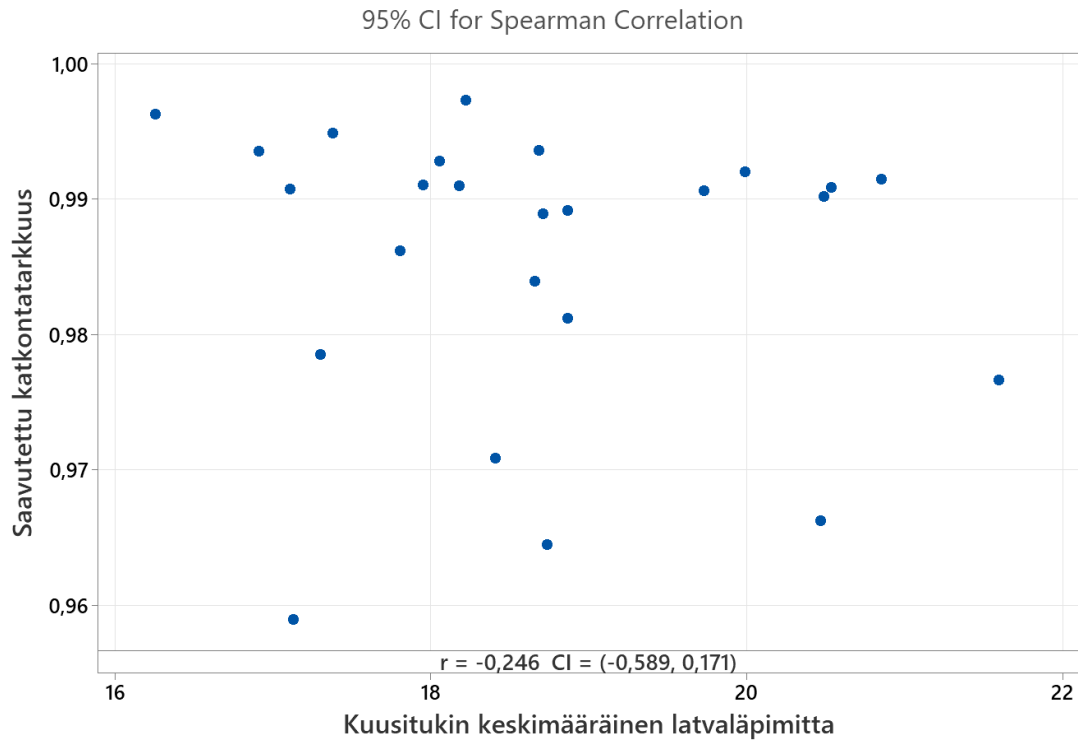
Kuvio 15. Saavutetun katkontatarkkuuden ja ylläpitokustannuksen välinen korrelaatio  $r = -0,063$ .

Tukkirunkojen keskitilavuutta on analysoitu yhtenä hakkuutyömaakohtaisena puustotunnuksiin liittyvänä muuttujana, onko saavutetulla katkontatarkkuudella riippuvuutta tukkirunkojen keskitilavuuden suhteen. Tuloksen  $r = -0,327$  (kuvio 16) perusteella voidaan tulkita, että aineiston tukkirunkojen keskitilavuuden vaihtelulla oli heikko riippuvuus saavutetun katkontatarkkuuden kanssa.



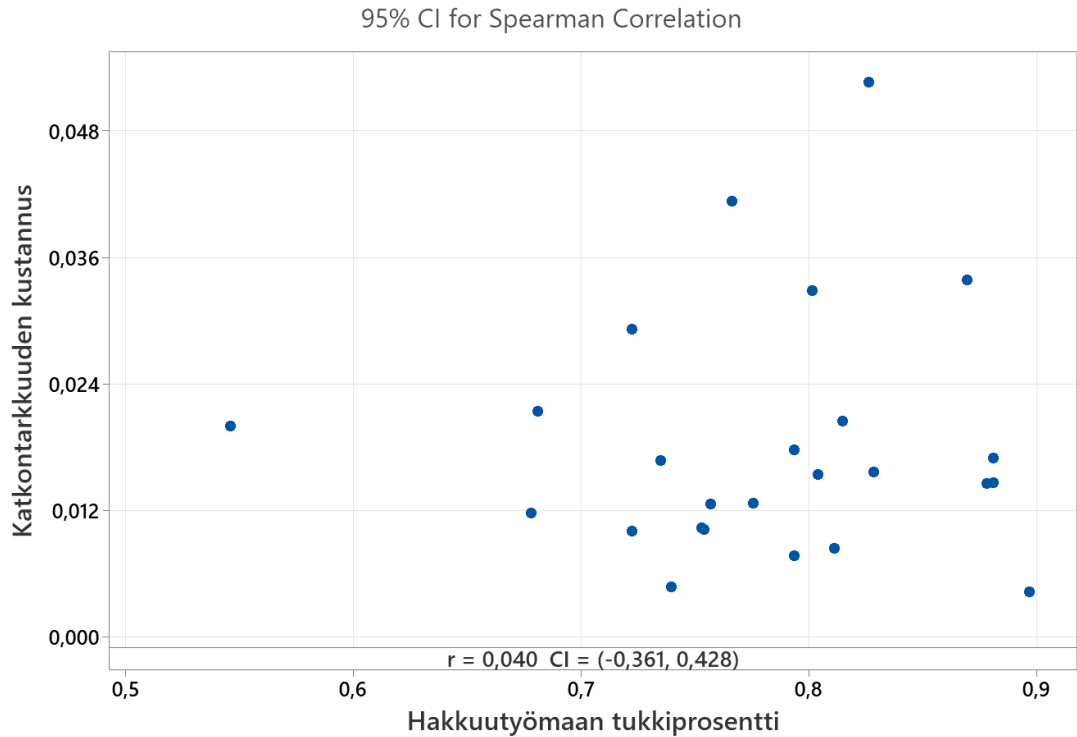
Kuvio 16. Saavutetun katkontatarkkuuden ja tukkirunkojen keskitilavuuden välinen korrelaatio  $r = -0,327$ .

Toisena puustotunnuksiin liittyvänä taustamuuttujana on analysoitu hakkuutyömaakohtaisesti aineiston kuusitukkien keskimääräisen latvaläpimitan riippuvuutta saavutettuun katkontatarkkuuteen. Tuloksen  $r = -0,246$  (kuvio 17) perusteella voidaan tulkita, että aineiston sahatukkien keskimääräisellä latvaläpimitalla oli myös heikko riippuvuus saavutettuun katkontatarkkuuteen. Hakkuukoneen pituusmittatarkkuudessa ei siis ollut nähtävissä eroa aineiston sahatukkien järeyden suhteen.



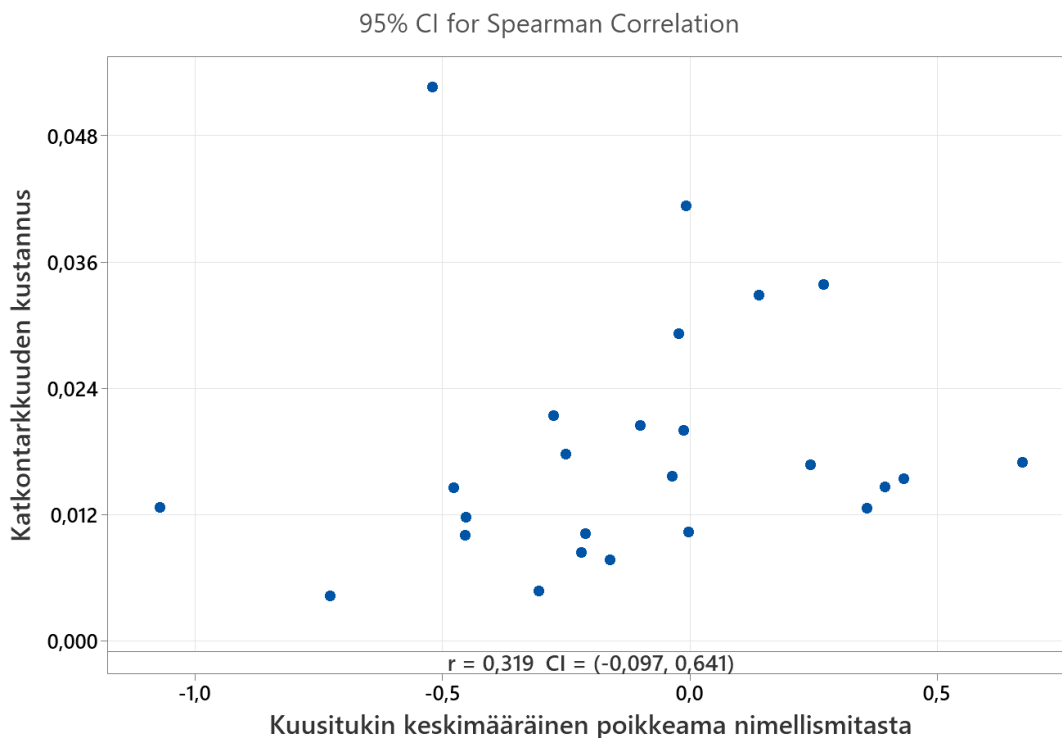
Kuvio 17. Saavutetun katkontatarkkuuden ja kuusitukin keskimääräisen latvaläpimitan korrelaatio  $r = -0,246$ .

Katkontatarkkuuden ylläpidon kustannuksen vaihtelua hakkuutyömaiden välillä on testattu tukkiprosentilla, oliko sahatukien suhteellisella osuudella merkitystä ylläpitokustannukseen. Tuloksen  $r = -0,040$  (kuvio 18) perusteella voidaan tulkitä, että aineiston hakkuutyömaakohtaisella tukkiprosentilla oli heikko korrelaatio muodostuvaan ylläpitokustannukseen. Vaikka määrämittaisen sahatukin osuus vaihtelee, niin katkontatarkkuuden ylläpidon kustannus ei korreloinut sahatukin määrään.



Kuvio 18. Katkontarkkuuden kustannuksen ja hakkuutyömaan tukkiprosentin korrelaatio  $r = 0,040$ .

Katkontatarkkuuden ylläpidon kustannuksen riippuvuutta hakkuutyömaiden välillä on testattu myös keskimääräisen pituuspoikkeaman vaihteluun. Tavoitteena oli selvittää, onko ylläpidon kustannuksella riippuvuutta keskimääräiseen pituuspoikkeamaan. Tuloksen  $r = 0,319$  (kuvio 19) korrelaatiokerroin osoittaa heikkoa korrelaatiota kustannuksen ja keskimääräisen pituuspoikkeaman välillä. Korkeampi ylläpitokustannus ei siis korreloinut saavutetun keskimääräisen pituuspoikkeaman kanssa.



Kuvio 19. Katkontarkkuuden kustannuksen ja kuusitukin keskimääräinen poikkeama nimellimitasta korrelaatio  $r = 0,319$ .

## 7 Pohdinta

### 7.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että erinomainen katkontatarkkuus (98,6 %) saavutetaan vaihtelevilla ylläpitokustannuksilla, eikä katkontatarkkuus ole suoraan riippuvainen ylläpitokustannuksista. Vuonna 2006 julkaistussa Metsätehon raportissa (Hujon, Korpilahti & Poikela 2006, 31) todetaan kuusitukin katkontatarkkuuspotentiaalinen olevan saavutettu, mikäli harvesterit kykenevät katkomaan 95 % tai suuremman osuuden sahatukeista  $\pm 3$  cm:n vaihteluväliin. Seurantajakson tulosten vaihteluväliin (95,8 % - 99,7 %) perusteella voidaan tulkita mittausmekaniikassa tapahtuneen kehitystä, koska vaihteluvälin alaraja ylittää kyseisen aikakauden tarkkuuspotentiaalinen. Hujon ym. (2006, 23) mukaan sahatukkien järjestyksen havaitaan osoittavan riippuvuutta saavutettuun katkontatarkkuuteen, tosin tämän tutkielman tulosten perusteella läpimittaluokat korreloivat heikosti saavutettuun katkontatarkkuuteen, eikä muuttujilla ole keskinäistä riippuvuutta.

Omavalvontahavainnot ja niiden tulkinta ovat tärkeä osa pituusmittauksen tarkkuuden ylläpitoa, ja harvesterinkuljettajan tulee tunnistaa katkontatarkkuuteen vaikuttavat muuttujat, oli kyse puuston ominaisuuksiin, vallitseviin olosuhteisiin tai hakkuukoneen tekniseen puoleen liittyvistä muuttujista. Pituusmitan tarkastuskertojen määrä vaihtelee: Haverisen ja Kotkan (2023, 16–17) opinnäytetyössä todetaan, että mikäli tarkastuksessa ilmenee säätötarvetta, tai olosuhteissa on vaihtelua, tulee säädön sekä olosuhteiden vaikutuksesta varmistua riittäväillä uusintamittauksilla. Mitattavien sahatukkien määrä on riittävä silloin, kun mittauksella saavutetaan luotettava tilannekuva harvesterin mittaustarkkuudesta. Katkontatarkkuuden ylläpitoon käytetty keskimääräinen aika oli aineiston mukaan 4 minuuttia 43 sekuntia, mikä on samansuuntainen Haverisen ja Kotkan (2023, 37) tulosten kanssa.

Harvesterinkuljettajien ajantasainen havainnointi, yhtenäinen toimintatapa sekä oikea-aikaiset toimenpiteet mahdollistavat vakaan katkontatarkkuuden hakkuutyömaasta toiseen. Aineiston leimikkorakenne tai mittalaitteen keräämät puustotunnukset eivät yksinomaan selitä kustannusten vaihtelua. Katkontatarkkuuden vuotuinen ylläpitokustannus voidaan tulkita myös siten, että oletettu harvesterin vuotuinen 80 000 m<sup>3</sup>:n korjuumäärä kustantaa koneyrittäjälle 1,8 % (kuvio 11) kustannuksella 1440 m<sup>3</sup>:n hakkuutuoton. Tästä koostuu keskimäärin 1,5 hakkuutyömaasta (kuvio 3) vuodessa. Euromääräistä summaa kustannukselle on käytännössä mahdotonta muodostaa, koska summaan vaikuttaa leimikkorakenteesta johtuva korjuutaksa.

## 7.2 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys

Tutkimuksen toteutus tapahtui opinnäytetyölle tehdyn suunnitelman mukaisesti ja analyysia varten saatiin kerättyä tutkimusaineistoa kattavasti. Hakkuutyömaat joilta aineisto kerättiin, edustivat ajankohtaan tyypillisiä kohteita puuston sekä olosuhteiden osalta. Aineiston luotettavuutta voidaan pitää korkeatasoisena, sillä numeerinen aineisto on tuotettu hakkuukoneen sekä sahan järjestelmien kautta, eikä se ole riippuvainen kirjausten huolellisuudesta. Havaintoyksiköiden

hankinta suuremmasta populaatiosta sekä pidemmältä ajanjaksolta tukisi tulosten yleistettävyyttä.

Kausivaihtelua tässä tutkimuksessa ei päästy huomioimaan, joten talvikauden vaihtelevat sääolosuhteet saattavat vaikuttaa tuloksiin lisäen harvesterinkuljetajan työmäärää sekä katkontatarkkuuden hajontaa. Toisaalta aineiston kerääminen oli tarkoituksella ajoitettu ajankohtaan, jolloin sahatukkeja ei välivarastoida vaan ne menevät suoraan jalostukseen, ja tämän ansiosta sahatukkien vastaanottotiedot voitiin yhdistää suoraan hakkuukonetietoon. Aihealue liittyy läheisesti työtehtäviini, joten opinnäytetyössä on käytetty lähdemateriaalin lisäksi myös työelämän kautta hankittua tietoa.

### **7.3 Jatkotutkimus ja kehitysideat**

Tutkimuksen tulokset antavat mitattua tietoa toimeksiantajalle uudistushakkuukohteiden katkontatarkkuudesta sekä vaikutuksesta käyttötuntituottavuuteen, jolla katkontatarkkuus on saavutettu. Tutkimusta voidaan jatkokehittää laajentamalla aineiston keruuta suurempaan perusjoukkoon tai olosuhteiltaan erilaiseen vuodenaikaan.

Mahdollinen jatkotutkimusaihe olisi tutkia katkontatarkkuuden kustannusta harvennuskohteilla, missä sahatukin osuus on pienempi kuin tämän tutkimuksen kohteilla. Kuten tulokset osoittavat (kuvio 18), niin uudistushakkuukohteiden tukkiprosentilla ei havaittu korrelaatiota kustannuksen kanssa. Katkontatarkkuuden ylläpito vaatii säännöllistä seurantaa, joten ei voida olettaa, että tukkiosuuden pienentyessä vastaava katkontatarkkuus saavutetaan pienemmällä kustannuksella.

## Lähteet

- Arlinger, J., Moller, J., Räsänen, T. & Sorsa, J.-A. 2019. Introduction to StanForD 2010. [https://www.skogforsk.se/cd\\_20190206130936/contentassets/1a68cdce4af1462ead048b7a5ef1cc06/stanford-2010-introduction-190106.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190206130936/contentassets/1a68cdce4af1462ead048b7a5ef1cc06/stanford-2010-introduction-190106.pdf).
- Haverinen, O. & Kotka, S. 2023. Metsäkoneen pituustarkkuuden ylläpitoon käytettävä aika. Karelia ammattikorkeakoulu. Metsätalousinsinööri. Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/791752/Haverinen\\_Kotka.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/791752/Haverinen_Kotka.pdf?sequence=2&isAllowed=y). 29.5.2023.
- Heikkilä, T. 2005. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Prima.
- Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. 9. uud. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.
- Hujo, S., Korpilahti, A. & Poikela, A. 2006. Katkontatarkkuuden ylläpito hakkukoneilla. Metsätehon raportti 195, 19–31. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_195.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_195.pdf).
- John Deere Forestry Oy. 2018. TimberMatic Kartat. YouTube-video. <https://www.youtube.com/watch?v=laRfO7Au8zw>. 14.12.2021.
- John Deere Forestry Oy. 2022a. TimberMatic H-16-käyttöohjekirja 09/2022.
- John Deere Forestry Oy. 2022b. Operator´s instructions H225E 05/2022.
- Jylhä, P., Jounela, P., Koistinen, M. & Korpunen, H. 2019. Koneellinen Hakkuu: Seurantatutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543864/luke-luobio\\_11\\_2019\\_v2.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543864/luke-luobio_11_2019_v2.pdf?sequence=7&isAllowed=y).
- KvantiMOTV. 2004. Korrelaatio ja riippuvuusluvut. <https://www.fsd.tuni.fi/menettelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>. 19.3.2023.
- Laki puutavaranmittauksesta 414/2013. <http://fin-lex.fi/data/normit/41198-13012fi.pdf>.
- Metsätehon opas. 2023. Mittaus ja laatu. <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/tehdasmittauksen-ominaispiirteet/>. 14.2.2023.
- Metsätehon tiedote 11/2022. 2022. <https://www.metsateho.fi/mittaustilasto-julkaistu/>. 31.11.2022.
- Metsäteollisuus. 2023. Metsät ja puuraaka-aine. <https://www.metsateollisuus.fi/metsat-ja-puuraaka-aine>. 16.4.2023.
- Nummenmaa, L., Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2014. Tilastollisten menetelmien perusteet. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Rantala, S. 2018. Tapion taskukirja. 26. painos. Helsinki: Metsäkustannus.
- Sahateollisuus. 2023. Sahatoimiala. <https://sahateollisuus.com/toimiala/>. 16.4.2023.
- Seppälä, P. 2020. Tavaralajimenetelmän metsäkoneiden automaation kehitysnäkymät. Metsätehon raportti 259, 8–14. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti-259-Tavaralajimenetelman-metsakoneiden-automaation.pdf>.
- Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus. Helsinki: Helsingin yliopisto.
- Skogforsk. 2021. StanForD/StanForD 2010-Standard for Forest Machine Data and Communication. Skogforsk, Sweden 2021. <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>. 7.3.2023.



- Sokka, M. 2000. Analysis of length measurement in harvester heads. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Koneensuunnittelu. Diplomityö.
- Suonurmi, O. 2023. Automation specialist. John Deere Forestry Oy. Haastattelu 12.4.2023.
- Tossavainen, M. 2023. Urakoitsija. Matti Tossavainen Ky. Haastattelu 2.3.2023.
- Tujula, S. 2023. Precision forestry specialist. John Deere Forestry Oy. Haastattelu 14.3.2023.
- UPM Metsä. 2023a. Metsäsanastoa tutuksi. <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/tietoartikkelit/metsasanasto/>. 16.1.2023.
- UPM Metsä. 2023b. Mitta- ja laatuvaatimukset. 15.3.2023.
- Uusitalo, J. & Kivinen, V-P. 2023. Metsäteknologian perusteet. Keuruu: Otavan kirjapaino.
- Vehkalahti, K. 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Helsinki: Finn Lectura.
- Vilka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4. uudistettu painos. Jyväskylä: PS-kustannus.
- Vuorenpää, T. 1997. Mittaustarkkuuden vaikutus sahan tukkijakauman ohjaukseen. Metsätehon raportti 34, 5–24. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_034.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_034.pdf).