



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Metsätalousinsinööri (AMK)

# Koivuvaneritukin katkaisuhukan vähentäminen tehdaskatkonassa

Elma Kukkonen

Opinnäytetyö, lokakuu 2022

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



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Lokakuu 2022**  
**Metsätalouden koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä(t)  
Elma Kukkonen

Nimeke  
Koivuvaneritukin katkaisuhukan vähentäminen tehdaskatkonnassa

Toimeksiantaja  
UPM Plywood Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä selvitettiin UPM Plywood Oy:n Joensuun vaneritehtaalle saapuvan puun katkaisuhukan vähentämisen mahdollisuuksia. Jokaisella käytössä olevalle tukkimittaluokalle simuloitiin erilaisia katkontapituuksia, joiden pohjalta saatiin laskettua mittojen muutoksien vaikutukset tehdaskatkaisussa muodostuvan hukkapuun määrään. Optimaalisia mittoja voitaisiin hyödyntää hakkuukoneen katkonnassa, jolloin tehtaalla tarvittaisiin vähemmän raaka-ainetta sekä sitä menisi vähemmän hukkaan, joten ne toisivat tehtaalle taloudellisia säästöjä. Tutkimuksessa selvitettiin myös pienimuotoisesti tehtaan tukkimittarin tarkkuutta.

Tutkimuksen aineisto saatiin UPM Plywood Oy:n Joensuun vaneritehtaan tietojärjestelmistä ja se sisälsi yhtiön omien alihankkijoiden toimittamat puut. Lisäksi tukkimittareiden tarkkuuden osalta aineistoa kerättiin mittaamalla tukkeja käsin ja suorittamalla kaksi koetta, joissa samat käsin mitatut tukit ajettiin yksitellen tehtaan tukkimittarin läpi.

Tutkimuksen tuloksista kävi ilmi, että koivuvaneritukin katkontapituuksia ja -ohjeita olisi mahdollista lyhentää jopa useilla senttimetreillä. Tehtaan tukkimittarien tarkkuus oli riittävä tasolla. On kuitenkin tärkeää, että niin hakkuukoneen kuin tehtaan mittarien tarkkuutta ylläpidetään, jotta tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää luotettavasti.

Kieli  
suomi

Sivuja 38

Asiasanat  
Vaneri, koivu, tukit, katkonta, hukkapuu



**THESIS**  
**October 2022**  
**Degree Programme in Forestry**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Elma Kukkonen

Title  
Reduction of Birch Plywood Log Cutting Losses in Factory Bucking

Commissioned by  
UPM Plywood Oy

**Abstract**

The purpose of this thesis was to find out the possibilities for reducing the cutting waste of wood coming to UPM Plywood Oy Joensuu's plywood mill. Each log dimension class was simulated by various bucking lengths, which resulted in calculating the effects of dimension change on the amount of the waste in the log cutting in the mill. Optimal dimensions could be used in the felling machine's work, which would require less raw material at the mill and less waste of wood, so it would bring financial savings to the mill. The study also investigated the accuracy of the mill's log meter on small scale.

The research material was obtained from the UPM Plywood Oy Joensuu's plywood mill's information systems and includes wood supplied by the corporation's own subcontractors. In addition, with regard to the accuracy of the log meter, the material was collected by manually measuring logs and performing two test runs where the same hand-measured logs were driven one by one through the mill's log meter.

The results of the study revealed that it would be possible to reduce the breakthrough lengths and instructions of the birch plywood logs up to several centimeters. The accuracy of the mill's log meter was at a sufficient level. However, it is important that the accuracy of both the felling machine and the mill's meters is maintained to reliably utilize the results of this study.

Language  
Finnish

Pages 38

Keywords  
plywood, birch, logs, bucking, wastewood

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Vaneriteollisuus .....	6
2.1	Raaka-aine .....	6
2.2	Vanerin määritelmä.....	6
2.3	Vanerin käyttökohteet .....	7
2.4	Tuotantovaiheet .....	8
3	Koivuvaneritukin korjuu .....	12
3.1	Mitta- ja laatuvaatimukset .....	12
3.2	Katkonta ja katkonnanohjaus.....	13
3.3	Katkonnan ongelmat.....	15
4	Tutkimuksen tausta ja tavoite .....	17
4.1	Toimeksiantajan esittely .....	17
4.1.1	UPM Kymmene Oyj .....	17
4.1.2	UPM Plywood Oy.....	17
4.1.3	UPM Joensuun vaneritehdas.....	18
4.2	Tavoite.....	19
5	Aineisto ja menetelmät.....	20
5.1	Menetelmät.....	20
5.2	Aineiston hankinta .....	20
5.3	Aineiston analyysit.....	21
6	Tulokset .....	22
6.1	Optimaaliset katkontarajat .....	22
6.2	Tehdasmittauksen tarkkuus .....	29
7	Pohdinta.....	31
7.1	Tulosten tarkastelu .....	31
7.2	Luotettavuus .....	34
7.3	Hyödynnettävyys ja jatkotutkimukset .....	35
	Lähteet.....	37

## 1 Johdanto

Metsäteollisuuden osuus Suomen bruttokansantuotteesta on laskenut viimeisten vuosikymmenten aikana, mutta se on edelleen yksi merkittävimmistä vientialoista. Suomessa vaneriteollisuus luo työpaikkoja myös suurimpien kasvukustusten ulkopuolelle, niin vaneritehtaille kuin raaka-aineen eli puun hankintaketjuun. Vaneritukin osto tuo paljon puunmyyntituloja metsänomistajille, joten sen merkitys paikallistalouksille on suuri. (Varis 2017, 42.)

Vanerintuotannossa tukin katkaisusta muodostuva hukka vaikuttaa tehtaan kannattavuuteen, sillä tukki on prosessin kallein osa. Jos tehtaalla tukkien katkaisua ohjaava mittari tekee virheen, tulee ylimääräinen hukkapala tai pahimmillaan jopa koko sorvipölli voi olla menetetty. Tukin ensimmäinen katkonta tapahtuu kuitenkin jo metsässä. Hakkuukoneen kuljettajilla on katkontaohjeet, joita tulisi noudattaa mahdollisimman tarkasti ja samalla ottaa huomioon mahdolliset viat puussa. Mitä suurempi katkonnän virhe on metsässä, sitä enemmän tehtaalla tulee hukkaa.

Mittaustarkkuuden on oltava riittävä jokaisessa vaiheessa, jotta tukkimittojen muutoksista olisi hyötyä. Vaikka mittaus ja sitä kautta katkonta olisi tarkka, katkaisuhukkaa muodostuu myös niistä tukeista, jotka ovat tehtaan katkaisurajan minimipituutta pidempiä, sillä niitä joudutaan tasaamaan. Myös pöllien katkaisuraoista muodostuu hukkaa noin senttimetrin verran rakoa kohden. Tehtaalla muodostuva hukka hyödynnetään sellu- ja polttohakkeena, mutta niiden arvo on pieni verrattuna hukaksi ostettuun tukkiin.

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona UPM Plywood Oy:n Joensuun vaneritehtaille ja päätavoitteena on löytää sopivimmat katkontarajat eri tukkimittaluokille, jolloin tukin katkaisuhukan määrä vähenee tehtaalla. Lisäksi selvitetään pienimuotoisesti tehtaan tukkimittarin tarkkuutta. Opinnäytetyön tavoitteena on vähentää raaka-aineen katkaisuhukkaa ja sitä kautta lisätä tehtaan kannattavuutta. Tutkimus kohdistetaan koivuun, sillä se on Joensuun vaneritehtaan käytämä puulaji.

## **2 Vaneriteollisuus**

### **2.1 Raaka-aine**

Vanerikoivua voidaan saada raudus- ja hieskoivusta. Hieskoivusta voidaan saada mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää vanerikoivua vain parhailta kasvupaikoilta, mutta parhaassakin tapauksessa tukkipuuosuus jää pieneksi. Pääasiassa vaneritukkia saadaankin rauduskoivusta. (Tapio 2021.)

Nykyisin valtaosa Suomen järeästä koivutukista kasvaa sekametsissä, mutta tulevaisuudessa yhä suurempi osa koivutukeista saadaan puhtaista viljellyistä tai luontaisesti syntyneistä koivikoista. Vähäoksaista ja korkealaatuista rauduskoivua kasvatettaessa lehtomainen kangas sopii parhaiten tarkoitukseen. Lajittuneella hietamaalla ja hiekka- tai hietamoreenilla kasvaneet rauduskoivut ovat oksaisuuslaadun kannalta parasta laatua, mutta näillä kasvupaikoilla esiintyy kuitenkin usein tyvimutkia ja lenkoutta. Hieskoivusta vaneripuuta kasvatettaessa parhaita kasvupaikkoja ovat tuoreet ja lehtomaiset kankaat. Lisäksi voidaan saada huomattava vaneripuun kertymä myös joiltakin ruohoisten turvemaiden ja kuivahkojen kankaiden hieskoivumetsiköistä. (Kaurala ym. 2004, 130.)

### **2.2 Vanerin määritelmä**

Vanerilevy valmistetaan liimaamalla yhteen päällekkäin syysuunta ristiin ladottuja viiluja (Juvonen & Kariniemi 1985, 11). Vaneri koostuu pintaviiluista, liima- viiluista sekä väliviiluista (Koponen 2002, 18). Vaneria voidaan valmistaa eri materiaaleista ja eri käyttötarkoituksiin riippuen vaadituista ominaisuuksista. Suomessa valmistetaan koivu-, kuusi- ja seka- eli combivaneria, jossa on käytetty sekä koivu- että kuusiviiluja. (Metsäteollisuus Ry 2006, 61.)

### 2.3 Vanerin käyttökohteet

Vanerilla on monia erilaisia käyttökohteita, sillä sitä on jalostettu eri ominaisuuksia hyödyntäen käyttövaatimusten mukaiseksi. Maailmanlaajuisesti yleisin käyttökohde on rakentaminen, vanerin lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien ansiosta. Muita suosittuja käyttökohteita ovat kuljetusvälineiden rakenteet ja huonekalut. (Varis 2017, 149, 154.)

Puurakentamisessa yleisimmin käytetty vaneri on pinnoittamaton havuvaneri sen edullisuuden, keveyden ja työstettävyyden vuoksi. Vanerin pitkä käyttöikä, lujuus, jäykkyys, helppo asennettavuus sekä kyky tasapainottaa kosteuden ja lämpötilan vaihtelun eroja tekee siitä erinomaisen materiaalin moneen rakentamisen osa-alueeseen. Vaneria hyödynnetään erilaisten tilojen lattioissa ja pinnoitettuna se sopii myös esimerkiksi katsomoihin, urheilukeskuksiin tai esiintymislavoille. Vaneri soveltuu seinämateriaaliksi etenkin tuulensuojalevyksi ja ulkoseinien sisärakenteisiin sekä väliseinien levytykseen. Katon kantavissa alusrakenteissa käytetään paljon havuvaneria, joka jäykistää kattorakenteen paremmin kuin perinteinen raakaponttilaudoituus. Vaneria hyödynnetään myös sisä- ja ulkoverhouksissa. Valmistalo- ja elementtiteollisuudessa käytetään koivu- ja havuvaneria monissa käyttökohteissa, myös maatilarakentamisessa. Myös infrarakentamisessa vanerilla on monia käyttökohteita, merkittävimpinä laiturit, lastaussillat, kävelysillat sekä rampit. Vaneria hyödynnetään myös betonirakentamisessa betonointimuotteina, materiaalina pääsääntöisesti koivu, mutta joskus myös seka- ja havuvaneri. Pinnoitetun vanerin käyttöikä on pidempi, sekä valun laatu parempi. Seinä-, holvi- ja kiviteollisuusvalujen lisäksi vanerin avulla voidaan tehdä erikoismuotteja vaneria taivuttamalla. (Varis 2017, 149–154.)

Kuljetusvälineiden rakenteissa käytetään pääsääntöisesti pinnoitettua tai pinnoittamatonta koivuvaneria. Yleisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi kuorma- ja pakettiautojen sekä peräkärrien lattioissa ja sisäverhouksissa. Hevoskuljetustrailereissa vaneria käytetään usein myös seinärakenteena. Kylmäkuljetusvaunuissa vanerilevyt toimivat osana paksua eristettyä lattiarakennetta, usein alimmassa ja ylimmässä kerroksessa. Linja-autoissa ja junissa vaneria käytetään korirakenteissa, lattioissa ja seinissä. Linja-autoissa käytetään kohteen

teknisistä vaatimuksista riippuen koivu-, havu- tai sekavaneria. Matkustajajunnissa käytetään äänieristettyä materiaalia, jossa eristysmateriaalin, joka on yleensä korkkia tai kumia, molemmin puolin liimataan pinnoittamatonta koivuvaneria. Vanerin käyttö laivoissa on lisääntynyt etenkin LNG-tankkereiden eristelaatikkoina. Eristelaatikat valmistetaan koivuvanerista, joka säilyttää lujuus- ja mittaominaisuutensa myös todella alhaisissa lämpötiloissa (-163,25 °C). (Varis 2017, 154–157.)

Huonekalujen valmistuksessa vanerin keveys, pinnan vaaleus, helppo työstettävyys ja kestävyys ovat haluttuja ominaisuuksia. Pääasiassa rungoissa käytetään havuvaneria ja näkyvissä osissa koivuvaneria. Vanerille voidaan tehdä erikoispinnoitus tai -käsittely, sekä se voidaan taivuttaa haluttuun muotoon. Muita käyttökohteita ovat parketit ja erikoislattiat, pakkausteollisuuden stanssit, erilaiset pakkaukset, kuormalavat, monenlaiset kyltit, kuten liikennemerkkit tai mainostaulut, rakennustyömaiden aidat ja rakennustelineet, tuuliturbiinit sekä leikkikalut ja leikkikenttäkalusteet. (Varis 2017, 157–159.)

## 2.4 Tuotantovaiheet

Vanerin valmistusprosessi sisältää monta erilaista vaihetta, jotka jaetaan tukkien käsittelyyn, viilun valmistukseen, viilun jalostukseen, vanerin valmistukseen sekä vanerin viimeistelyyn ja pakkaukseen. Tehtaiden välillä ei ole merkittäviä eroja tuotantomenetelmissä. (Koponen 2002, 28–29.) Vaneriteollisuuden raaka-aineen käytön hyötysuhde on melko alhainen, vain noin 27–35 %. Käytännössä tämä tarkoittaa, että yhtä valmista vanerikuutiota kohden tarvitaan noin kolme kuutiota vaneritukkia. (Juvonen & Kariniemi 1984, 153; Varis 2017, 47.) Taulukossa 1. on esitetty keskimääräinen saanto nykyaikaisessa vaneritehtaassa (Varis 2017, 47).



Vaneritehtaan käyttösuhde	
	Koivu
Puuraaka-aine eli tehtaaseen syötetyt tukit	100 %
Kuorittuja tukkeja katkontaan	89 %
Pöllejä sorvaukseen	85 %
Märkäviilua kuivaukseen	57 %
Viilua kuivauksesta	50 %
Viilua ladontaan	43 %
Puristettua vaneria	41 %
Valmista valkoista vaneria tehtaaseen syötetyistä tukeista	35 %
<b>Saanto</b>	<b>35 %</b>

Taulukko 1. Vaneritehtaan käyttösuhde (Varis 2017)

Tukit saapuvat tehtaan vastaanottoon, jossa seurataan tukkien kappalemääriä, keskikokoa, laatua ja tilavuutta kuormittain kehys- ja otantamittauksella. Mittaus suoritetaan useimmiten kuormainvaakamittauksena tai tukkimittarilla lajittelulinjalla. Tukit joko niputetaan ja lasketaan suoraan haudonta-altaaseen tai varastoidaan varastokentälle odottamaan haudontaa. (Koponen 2002, 29.) Haudonnan tarkoituksena on lisätä puuaineen elastisuutta ja leikkautuvuutta, jolloin sorvipöllin leikkausominaisuudet ja viilun laatu paranevat. Suomessa käytetyt haudontalämpötilat ovat koivutukilla 40–50 °C ja havutukilla 40–55 °C. (Varis 2017, 50.)

Haudonta-altaasta tukit nostetaan tukkikuljettimelle, jossa suoritetaan kuorinta (Koponen 2002, 33). Kuoritut tukit jatkavat tukkimittarille, joka optimoi katkontapituudet jokaiselle tukille erikseen hyödyntääkseen tukit mahdollisimman hyvin. Katkaisu tapahtuu automaattisilla sahoilla, joiden katkontaa ohjaa myös jonkinlainen mittari tai kiinteä vaste. Yleisimmät sorvipöllin pituudet Suomessa ovat 130 cm (50 tuumaa), 160 cm (60 tuumaa) ja 260 cm (100 tuumaa). (Varis 2017, 54.)

Tukkimittarina toimii useimmiten tukit kappaleittain mittaava optinen mittari, joka antaa tiedon tukin pituudesta, läpimitasta ja tilavuudesta. Osassa nykyaikaisista tukkimittareista käytetään laser- tai infrapunasäteitä sekä kameroita, joilla

saadaan kolmiulotteinen malli tarkan dimension ja tilavuuden mittaukseen. Pituuden mittaukseen käytetään usein pulssiantureita, jotka laskevat tukin pituuden. Pituuden mittaus alkaa, kun pituussuunnassa kuljettimella kulkeva tukki katkaisee valokennon säteen ja päättyy tukin ohittaessa valokennon. Tältä ajalta anturi lähettää pulsseja, joiden määrän ja pulssia vastaavan kuljettimen kulkeman matkan perusteella lasketaan tukin pituus. (Korpilahti, Hujo & Poikela 2006, 11). Lämpimitta ja pituus mitataan useimmiten 0,1–1 senttimetrin tarkkuudella (Puuhuolto 2022; Vuorenää 1997, 8). Vaneritehtaalla tärkeintä on pituuden mittaus ja sen tarkkuus, jotta tukista saataisiin mahdollisin paljon hyödynnettyä pölleiksi katkottaessa. Tukkimittarin tiedoista katkaisusaha saa tiedon, minkä mittaisiksi ja kuinka moneksi sorvipölliksi tukki tulee katkoa. Tarvittaessa saha tekee tasauksen, jos tukki on riittävää minimipituutta pidempi.

Tehdaskatkaisussa ongelmat liittyvät useimmiten mittausvirheeseen. Mittausvirheitä aiheuttavat häiriötekijät mittausalueella sekä mittalaitteen likaisuus. Mittauspaikan valaistus, auringonsäteet sekä ilman pölyisyys voivat häiritä valokennojen toimintaa. Mittapaikan sijoittelulla voidaan ehkäistä näitä ongelmia. Kuljettimelle ajautuvia kuorenpalasia, lunta ja jäätä sekä öljyä ja rasvaa voidaan pyrkiä vähentämään sijoittamalla muoviverho tukin kulkuaukkoon ennen tukkimittaria sekä paineilmapuhalluksella. Lisäksi kuljettimen värinä, heilahdukset ja välirikot aiheuttavat mittausvirheitä. Hakkuukoneen sahaamat vinot tyvet sekä kaatolipat vaikuttavat myös mittaustulokseen. (Marjomaa 1996, 3, 7.) Korpilahti ym. (2006) totesivat tutkimuksessaan, että vuodenaikojen ei havaittu aiheuttavan selvää vaihtelua mittaustuloksiin. Myöskään tukin pituudella ei ollut merkitystä mittaustarkkuuteen. Sen sijaan läpimitaltaan järeimmät tukit mittari mittasi todettua pidemmiksi muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Tutkimuksessa todettiin myös, että tukkimittarin kalibroinnilla on suuri merkitys mittaus-tarkkuuteen. (Korpilahti ym. 2006, 14–15.)

Oikeanmittaiseksi katkaistu sorvipölli saapuu kuljettimilla sorvauslinjalle, jossa sen muoto mitataan laser-säteillä optimaalisen keskitysasennon löytämiseksi. Keskitetty pölli lähtee pyörimään karoissa terää vasten pyöristäen pöllin poistamalla epätasaisuudet ja sitten sorvaa halutun paksuisen viilun. (Koponen 2002,

40–41; Varis 2017, 56, 58.) Jäljelle jää pöllin keskiosa, purilas, joka on vähintään 55 mm paksu. Sorvattu viilu leikataan katkaisulaitteessa halutun pituisiksi arkeiksi, jotka jatkavat telakuivaajaan. Jos käytössä on verkkokuivaaja, viilumatto kuivataan kokonaisuutena ja leikkaus arkeiksi tapahtuu vasta kuivana. (Varis 2017, 58, 60, 63–64.)

Viilut kuivataan vanerin liimaukselle optimaaliseen kosteustasoon, jotta vanerin laatu ei kärsisi. Tavoitekosteus on koivuviilulla 4–6 % ja havuviilulla 6–8 %. Kuivauksessa vesi poistetaan viilusta lämmön ja ilmankierron avulla. Kuivattu viilu lajitellaan laadun mukaan sisä- ja pintaviiluihin sekä pintaviiluissa vielä standardien mukaisiin laatuluokkiin. Pintaviilu määrittää vanerin laatuluokan. (Varis 2017, 63–64, 67–69.) Viilua voidaan jalostaa, eli valmistaa viilut liimaukseen sopiviksi laaduiltaan ja mitoiltaan sekä parantaa saantoa. Yleisimpiä jalostuksen työvaiheita ovat paikkaus, jatkaminen, saumaus ja päistään viallisten viilujen sahaus. (Koponen 2002, 59.)

Viilun saumauksessa hyödynnetään erikokoisia viilukappaleita, jotka syntyvät, kun viilusta leikataan pois vikoja. Viilukappaleet liitetään toisiinsa liimalangalla ja tarvittaessa lisäämällä liimapisaroita puskusaumaan. Kappaleet eivät saa mennä reunoistaan limittäin. Nykyään saumaus voidaan tehdä myös märille viiluille, jolloin liiman sijaan käytetään teippiä, joka liimataan kummallekin puolelle arkkia sahalaitaisina paloina. Pintaviilujen saumauksessa viilun reunat höylätään ja koko reunan pituudelle levitetään liimaa, jonka jälkeen saumat kuumapuristetaan. Viilun jatkaminen tapahtuu syynsuuntaisesti, jotta saadaan vanerin rakenteeseen haluttu ristikkäisrakenne. Koivuvaneritehtaalla jatkettuja viiluarkkeja tarvitaan 45 % koko viilumäärästä, sillä koivupöllien pituus ei riitä niihin suoraan. Jatkamisessa viilun kumpikin pää viistetään ja niihin levitetään liimaa. Viisteet puristetaan yhteen kuumapuristinpalkeilla. (Varis 2017, 71–75.)

Valmiit viilut siirtyvät liimaukseen, ladontaan ja puristukseen. Liima levitetään joko jokaisen viilun päälle tai joka toisen viilun molemmin puolin pääsääntöisesti telalla. Ladonnassa yhdistetään pintaviilut ja sisäviilut. Sisäviilut ladotaan syynsuuntaisesti ristikkäin tuomaan vanerilevyyn lujuutta. Levyaihiot esipuristetaan muutamien minuuttien ajan huoneenlämmössä ennen kuumapuristukseen

siirtymistä. Kuumapuristuksessa käytetään painetta sekä korkeaa lämpötilaa liimalaadusta riippuen, jotka liimaavat viilut yhteen. Puristusaikaan vaikuttaa levyn paksuus. (Koponen 2002, 65, 68–69, 71; Varis 2017, 80, 82, 84, 86.)

Puristettujen vanerilevyjen reunat ovat viilusäleisiä ja liimaisia, joten niiden reunat tasataan ja levyt sahataan lopulliseen mittaan. Sahatut levyt tarkastetaan, korjataan, hiotaan ja lajitellaan sekä pakataan. Levyjen pintavikoja voidaan korjata kittaamalla käsin tai automaattisella laitteella ennen hiontaa. Hionnassa levyn paksuus tasataan oikeaksi ja pinta siloitetaan. Osa levyistä pinnoitetaan tarpeen mukaan ja vakiolevyt lajitellaan laadun mukaan. Levyt pakataan lialta, kosteudelta ja käsittelyvaurioilta suojaan. (Koponen 2002, 74, 78; Varis 2017, 90–91, 93, 96.)

### **3 Koivuvaneritukin korjuu**

#### **3.1 Mitta- ja laatuvaatimukset**

Vaneri- eli sorvitukit katkotaan yleisimmin 3–6,7 metrin pituuksiin, joista tehdään tehtaalla 13–17 dm:n pituisia sorvipölkkyjä (Farmit 2010). Katkontaan vaikuttaa pölkkyjen jaksottuminen tukkirungossa. Laadun tarkastelumääränä on 15 dm:n pituusmoduulit, joille on määritetty vikojen enimmäismäärä. Tukissa saa olla minimilaadun alittavaa osaa niin sanotussa välivähennyspätkässä, jonka molemmin puolin saadaan laadultaan kelvollinen sorvipölkky. (Tapio 2021.) Minimiläpimitta on pääsääntöisesti 18 cm latvapuolen ohuimmasta kohdasta kuoren päältä mitattuna. Maksimiläpimitta on yleensä 60 cm (Farmit 2010).

Koivuvaneritukin terveen oksan enimmäisläpimitta saa olla 70 mm, kuivien tai lahojen oksien ja oksakyhmyjen enimmäisläpimitta saa olla 30 mm ja niitä saa olla enintään viisi (kappaletta per) 15 dm:n pituusmoduulissa. Suurin sallittu lenkous läpimitaltaan alle 30 cm:n puissa on 3 cm/pituusmoduuli ja yli 30 cm:n puissa 5 cm/pituusmoduuli. Rungossa ei saa olla äkkimutkia tai väärisyyttä.

Rungon sivulla saa olla vain yksi enintään 6 dm:n pituinen kovapohjainen koro tai umpihaava. Tällaisen syvyys saa olla enintään 10 % pituusmoduulin mitasta. Rungossa ei saa olla lainkaan lahopohjaisia koroja tai pehmeää lahoa. Tukin sydämessä saa olla kovaa värillistä puuta tai sydänhalkeamia enintään kolmasosa rungon läpimitasta. (Tapio 2021.)

### 3.2 Katkonta ja katkonnanohjaus

Koivuvaneritukin katkontaikkuna on yleisimmin 0–10 cm välillä. Katkontaikkuna on suurempi kuin kuusivaneritukilla (0–6 cm), sillä koivun laatu on yleisesti heikompa. Hieman ylipitkä tukki on parempi kuin alimittainen, jolloin hukkaa tulee enemmän. Laki määrää puutavaran mittauksesta ja vaatii kontrolloimaan mittalaitteiden toimivuutta ja käytettäviä mittausmenetelmiä (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013). Kuvassa 1 on kuvattu koivuvaneritukin katkontaikkuna.



Kuva 1. Koivuvaneritukin katkontaikkuna

Käytännössä mittauksarkkuutta valvotaan tarkastus- ja kontrollimittausten avulla, joita suorittaa hakkuukoneen kuljettaja ja ulkopuolinen taho. Kontrollimitaus tulee tehdä jokaisen työvuoron alussa, mittaamalla käsin vähintään kuusi katkottua pölkkyä ja tarvittaessa kalibroida hakkuukoneen mittalaite. Lisäksi mittauslaite arpoa satunnaisia näyterunkoja vähintään kahdesti hakkuukoneen käyttöviikon aikana. Arvonnassa tulee olla mukana kaikki hakkuutyömaalla olevat puulajit. Mittauslain mukainen suurin sallittu poikkeama hakkuukonemittaukselle on  $\pm 4$  prosenttia. Mittaero tulisi saada viritettyä mittalaitteeseen mahdollisimman pieneksi. Tarkastusmittauksia suoritetaan vähintään puolivuositain hakkuukonekohtaisesti tai jos joku mittausosapuoli sitä perustellusti vaatii.

Tarkastusmittauksen suorittaa jokin muu henkilö kuin hakkuukoneen kuljettaja ja muilla kuin hakkuukoneen omilla mittasaksilla. Tarkastuserän koon tulee olla vähintään 30 pölkyä/pääpuulaji ja sekä pääpuulajin tukki- ja kuitupuupölkyjä tulee kumpiakin olla vähintään 10. Myös tarkistusmittauksessa suurin sallittu poikkeama on  $\pm 4$  prosenttia ja tarvittaessa mittalaite tulee kalibroida. (Puuhuolto 2018, 3–4.)

Katkontaa ohjataan erilaisilla katkontamatriiseilla, jotka voivat perustua hinta- tai tavoitematriiseihin, jotka auttavat hakkuukoneen kuljettajaa päätöksenteossa. Katkonnin optimoinnissa voidaan käyttää joko suurimman arvon tuottavaa arvoapteerausta tai parhaiten valitut hakkuutavoitteet täyttävää tavoiteapteerausta. (Leinonen 2013, 10.) Nämä kaksi katkonninohjauksen mallia ovat keskenään hieman ristiriidassa, sillä puunmyyjän ja teollisuuden tarpeet ovat erilaiset (Mennala 2020, 6; Piira, Kilpeläinen, Malinen, Wall & Verkasalo 2007, 20).

Hakkuukoneen kourassa on mittalaite, joka mittaa rungon läpimittaa vetorullien tai karsintaterien kulmilla. Pituutta mittaa kouraan asennettu pituusmittarulla. (Vuorenpää 1997, 5.) Näiden mittalaitteiden avulla hakkuukoneen tietokone tekee kapenemisennusteen rungosta mitaamiensa arvojen perusteella ja antaa katkontaehdotuksen. Kapenemisennuste perustuu useimmiten runkopankkiin tai matemaattisiin malleihin, joskus kumpaankin. Mittalaite vertaa rungosta mitattuja ja ennustettuja arvoja toisiinsa, jos ne poikkeavat yli ennalta määrätyn sallitun rajan, laskee kone uuden katkontaehdotuksen. (Lukkarinen & Marjomaa 1997, 6–8.)

Kun käytetään arvoapteerausta, katkontaehdotus pohjautuu kapenemisennusteen ja tiedossa olevien eri puutavaralajien arvojen mukaan. Runko pyritään katkomaan suurimman arvon tuottavan katkontavaihtoehdon mukaan. Arvot määräytyvät läpimitta- ja pituusluokkien mukaan loppukäyttäjän tarpeen mukaisesti. Arvot voivat muodostua esimerkiksi tuotteen jalostusketjun nettoarvoihin tai olla suhteellisia tai absoluuttisia markkinahintoja. Rajoittavia tekijöitä katkontaehdotuksen muodostamisessa on tukkiosuus sekä tukkien pituudet. Järjestelmä laskee jokaisen mahdollisen katkontavaihtoehdon ja niiden tuottamat arvot ja valitsee niistä parhaan. Lopullinen katkontatuloks saadaan, kun runkoa

aletaan katkomaan ja mahdollisten ennustevirheiden kohdalla kuljettaja tekee oman parhaaksi näkemänsä ratkaisun. (Ahonen & Lemmetty 1995, 1–2.)

Arvoapteerauksen ongelmana on, ettei se useimmiten vastaa teollisuuden eli puutavaran loppukäyttäjän toiveita. Tämän välttämiseksi on kehitetty painotettu arvomatriisi, jossa arvoja muutetaan tarvittujen läpimitta- ja pituusluokkien mukaan. (Mennala 2020, 6–8.)

Toinen yleisesti käytössä oleva menetelmä, jakauma-apteeraus, hyödyntää arvomatriisia sekä tehtaan tarpeen mukaan muodostettua jakaumamatriisia, eli se pyrkii saavuttamaan ennalta määrätyt laatu-, pituus- ja läpimittajakaumat. Arvomatriisi toimii kuten edellä on kuvattu ja jakaumamatriisi kertoo, missä suhteessa eri läpimitta- ja pituusluokkien tukkeja halutaan. Arvotaulukko voi myös mukautua sen mukaan, kuinka lähellä asetettua tavoitetta ollaan. Jakauma-apteerauksessa voidaan optimoida tukkijakaumaa myös leimikkotasolla. (Mennala 2020, 6–8; Ahonen & Lemmetty 1995, 2–3).

### **3.3 Katkonnan ongelmat**

Hakkuukoneen katkonnassa yleisimpiä ongelmia ovat puun luonnolliset viat, nila-aika, vaihtelevat keliolosuhteet, hakkuukoneen mekaaniset viat sekä hakkuukoneenkuljettajan kokemattomuudesta tai huolimattomuudesta johtuvat virheet (Muranen-Granö 2011, 13; Korpilahti ym. 2006, 29).

Hakkuukoneen kuljettaja pystyy havaitsemaan puun luonnollisista vioista kunolla vain lahon, lenkouden ja katkonnan puolella olevan koron (Muranen-Granö 2011, 13). Katkontaan eniten vaikuttavat luonnolliset viat taas ovat kovempaa solukkoa olevat oksakyhmyt ja korot, joiden kohdalla mittapyörä ei pääse painumaan normaalisti kuoreen ja puuainekseen. Tällöin mittapyörän kulukema matka on pidempi kuin rungon todellinen pituus. Koivikoissa ongelmaksi voi muodostua luonnostaan hyvinkin mutkainen runko. Hakkuukoneen kouran karsimaterät ja vetorullat myötäilevät rungon muotoja, mutta mutkainen runko voi irrottaa itseään kouran otteesta ja mittakehästä, jolloin liikevara ei

välttämättä riitä ja mittakehä pysähtyy hetkellisesti antaen väärää tietoa puun pituudesta. (Pulkkinen 2009, 12–13.)

Etenkin kuusen tyvilaajentumat voivat kallistaa hakkuukoneen kouran vinoon, jolloin kaatosahauksessa tyvi tulee vinoksi. Useimmiten mittapyörä kuitenkin asettuu tukin lyhyemmälle reunalle, jolloin hakkuukoneen mittausta on oikea. Ongelmat esiintyvätkin tehdasmittauksessa, jolloin tukki mitataan liian pitkäksi. Tarvittaessa suurille tyvitukeille voidaan käyttää pituuskorjausta. (Korpilahti ym. 2006, 29).

Katkontaan ja mittaukseen vaikuttavia mekaanisia vikoja hakkuukoneessa voivat olla esimerkiksi kulunut hakkuupään mittapyörä, pakkasvauriot hydraulikka-järjestelmässä, laipan vinous ja teräketjun tylsyys. Mekaanisia vikoja voi estää huoltamalla hakkuukonetta säännöllisesti. (Muranen-Granö 2011, 13.) Myös katkontatarkkuuden ylläpidosta luistaminen aiheuttaa mittausvirheitä. Rungon raahaaminen käsittelypisteeseen voi aiheuttaa virheen pituusmittaukseen, ja jos kuljettaja ei huomioi tilannetta sekä niin sanotusti nolaa pituusmittaa esimerkiksi sahausliikkeellä, mittavirhe jää voimaan. (Korpilahti ym. 2006, 11.)

Nila-aikana touko-kesäkuussa irtonainen kuori aiheuttaa ongelmia hakkuupään mittarissa. Mittarulla saattaa luistaa mittakehän painatuksesta huolimatta, jolloin kuori irtoaa ja estää kehän pyörimisen kasautuessaan sen eteen. Nopeat keliolosuhteiden vaihtelut etenkin kevätaikaan, kun päivän ja yön välinen lämpötilaero voi olla jopa 20 astetta, aiheuttavat ongelmia puun sisäisten lämpötilaerojen myötä, koska tällöin mittakehä uppoaa sulaan puuhun syvemmälle kuin jäiseen. (Pulkkinen 2009, 8, 12; Korpilahti ym. 2006, 29.)



## **4 Tutkimuksen tausta ja tavoite**

### **4.1 Toimeksiantajan esittely**

#### **4.1.1 UPM Kymmene Oyj**

UPM Kymmene Oyj on suomalainen metsäteollisuusyhtiö, joka toimii kansainvälisesti ja on alansa johtava toimija. Tuotantoa on 12 eri maassa 54 tuotantolaitoksella, myyntiverkosto ulottuu kuudelle mantereella. Yhtiössä työskentelee yhteensä noin 17 000 henkilöä ja vuosittainen liikevaihto on noin 9,8 miljardia euroa. (UPM 2022, 8–9.)

UPM toimii kuudella eri liiketoiminta-alueella: UPM Fibres, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Papers, UPM Communication Papers ja UPM Plywood. UPM Fibres:n toiminta muodostuu sellu- ja sahaliiketoiminnoista, UPM Pulp:sta ja UPM Timber:stä. UPM Energy tuottaa hiilidioksidivapaata sähköä erilaisilla voimalaitoksilla. UPM Raflatac tarjoaa erilaisia tarramateriaaleja. UPM Specialty Papers ja UPM Communication Papers toimii paperinvalmistuksessa. UPM Plywood tuottaa vaneri- ja viilutuotteita. (UPM 2022, 8–9.) Lisäksi UPM:lla on erilaisia biomateriaaleihin pohjautuvia liiketoimintoja; UPM Biofuels valmistaa biopolttoaineita, UPM Biocomposites kuitupohjaisia komposiitteja, UPM Biochemicals erilaisia puupohjaisia kemikaaleja moniin käyttötarkoituksiin sekä UPM Biomedicals kehittää biolääketieteellisiä innovaatioita (UPM 2022, 54–59). UPM Metsä hankkii yhtiölle puuta ja metsäbiomassoja sekä hoitaa yhtiön ja yksityisomistuksessa olevia metsiä Pohjois-Euroopassa (UPM 2022, 9).

#### **4.1.2 UPM Plywood Oy**

UPM Plywood Oy:llä on seitsemän vaneritehdasta sekä yksi havuviilutehdas, joista kuusi sijaitsee Suomessa, loput kaksi Virossa ja Venäjällä. Koivuvaneria valmistetaan Joensuun ja Savonlinnan tehtailla sekä Virossa Otepään ja Venäjällä Chudovon tehtailla, havu- ja erikoisvaneria Pelloksen tehtailla Mikkelissä

sekä havuviilua Kalson tehtaalla Kouvolassa. (UPM 2022, 233.) Lisäksi myynti-konttoreita on 10 maassa, ja ne työllistävät yhteensä noin 2200 työntekijää. UPM Plywood Oy:n liikevaihto oli 492 miljoonaa euroa vuonna 2021. (UPM 2022, 52.)

UPM Plywood Oy valmistaa korkealaatuisia WISA-vaneri- ja viilutuotteita koivusta ja kuusesta, käyttökohteinaan mm. rakentaminen, kuljetusvälineiteollisuus, parketinvalmistus sekä muut teollisuussovellukset (UPM 2022, 8). Nykyisin yksi tärkeimmistä loppukäyttökohteista on maakaasua kuljettavien LNG-säiliöalusten eristeet ja kontit (Rummukainen 2014).

#### **4.1.3 UPM Joensuun vaneritehdas**

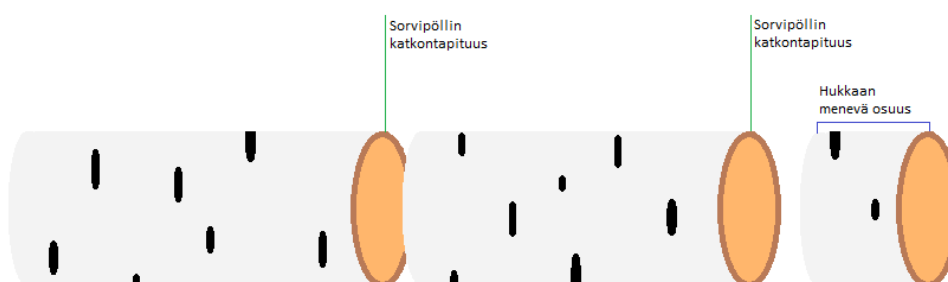
UPM Joensuun vaneritehdas valmistaa koivusta vaneria ja vanerisia komponentteja pääasiassa vaativiin teollisiin käyttökohteisiin, kuten esimerkiksi laivanrakennukseen ja kuljetusvälineisiin, mutta myös huonekaluihin. Vaneritehtaan vuosittainen tuotantokapasiteetti on 55 000 m<sup>3</sup> valmista vaneria. Tehdas työllistää 170 henkilöä. (UPM 2021.) Tehtaan käyttämät sorvipölliämitat ovat 130 ja 160 cm (UPM Metsä 2022.)

Joensuun vaneritehtaan historia yltää vuoteen 1912, jolloin paikalle perustettiin lankarullatehdas, jota alettiin muuntaa vaneritehtaaksi jo 1917. Seuraavana vuonna alkoi vanerin tuotanto. Vuonna 1922 tehdas siirtyi Oy Wilhelm Schauderman Ab:n omistukseen. Schaudermanin nimen alla tehdas pysyi vuoteen 2004 saakka, jolloin omistussuhteiden muututtua yhtiöstä ja tehtaasta tulee UPM-Kymmene Wood Oy. Vuonna 2017 UPM:n liiketoiminta-alat eroteltiin ja tehdas muuttui UPM Plywood Oy:n alaiseksi. (UPM Plywood Oy 2022.) Loppuvuodesta 2021 UPM ilmoitti investoivansa UPM Plywood Oy:n Joensuun vaneritehtaan kehittämiseen 10 miljoonaa euroa. Investointi pitää sisällään 720 m<sup>2</sup> uutta tuotantotilaa sekä uusia työtiloja ja tuotantolinjoja. (UPM Kymmene Oyj 2021, 175.)

## 4.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli tukin katkaisuhukan vähentäminen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin löytämään koivuvaneritukille eri mittaluokissa optimaalisimmat mittojen alarajat, joita hyödyntämällä hakkuukoneille annettavissa katkontamatriiseissa muodostuisi mahdollisimman vähän raaka-ainehukkaa. Hukkaa syntyy, kun tukkeja joudutaan tehtaan katkaisusahassa tasaamaan niiden ollessa minimipituutta pidempiä. Myös alimittaiset tukit aiheuttavat hukkaa, sillä ne joudutaan katkomaan lyhyempään katkaisumoduuliin, jolloin tasauksen katkaisuhukka voi kasvaa jopa 70 cm:iin.

Lisäksi tutkimuksen tekohetkellä toimeksiantajan käyttämät tukkimitat olivat hieman pidempiä kuin todellinen tehtaalla riittävä mitta, mikä lisää hukan määrää, niinpä opinnäytetyössä pyrittiin myös määrittämään todelliset alarajat mitoille. Tutkimuksen tekohetkellä hakkuukoneet pyrkivät katkomaan tukin heille annettun pituuden alarajasta +0-10 cm päähän, ja yleisin katkontatarkkuus oli +5 cm. Tällöin tehtaan katkaisussa on muodostunut heti ainakin 5 cm hukkaa. Kuvassa 2 on esitelty esimerkkitilanne, jossa tukki on minimipituutta pidempi, jolloin sorvipölliin katkaisussa muodostuu hukkapätkä.



Kuva 2. Katkaisuhukka tehtaan katkaisussa

Tutkimuksessa pohdittiin myös muita mahdollisuuksia hukan vähentämiseksi. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin tehtaan tukkimittarin tarkkuutta, sillä sen ollessa epätarkka, ei sopivammasta saapuvan tukin pituudesta ole hyötyä.

## 5 Aineisto ja menetelmät

### 5.1 Menetelmät

Tämä opinnäytetyö suoritettiin kvantitatiivisena eli määrällisenä tutkimuksena. Määrällisessä tutkimuksessa hyödynnetään numeerisia aineistoja, eli se perustuu arvojen mittaamiseen ja saatuja lukuja analysoidaan tilastollisin menetelmin. Se antaa vastauksen kysymyksiin, kuinka moni, kuinka paljon tai kuinka usein. Määrällisen tutkimuksen tavoitteena on joko ennustaa, selittää, kuvailla, vertailla tai kartoittaa jotakin asiaa. Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli kartoittaa mahdollisuuksia tukin katkaisuhukan vähentämiseksi. (Vilka 2007, 13–14, 19–20.) Aineistojen käsittelyssä ja simuloinnissa käytettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistoa. Tukkimittarin koeajoista saatujen aineistojen luotettavuutta tarkasteltiin parittaisella kahden otoksen t-testillä keskiarvoille. Kyseisessä testissä voidaan selvittää, onko kahden toisistaan riippuvaisen otoksen keskiarvot muuttuneet. Muodostetaan siis kaksi hypoteesia, joista toinen on niin sanottu nollahypoteesi, jolloin tarkasteltavien muuttujien eli mittaustulosten keskiarvot ovat yhtä suuret. Vastahypoteesissa taas muuttujien keskiarvot ovat erisuuret. (Tietoarkisto 2022.)

Tutkimuksen aikana pohdittiin myös muita mahdollisia keinoja vanerin valmistuksessa muodostuvan raaka-ainehukan vähentämiseen, joita voitaisiin jatkotutkimusten myötä tutkia tarkemmin.

### 5.2 Aineiston hankinta

Opinnäytetyö sai alkunsa huhtikuussa 2022, kun sain tiedon toimeksiantajalla vapaana olevasta opinnäytetyöaiheesta, jonka tavoitteena oli vähentää tukkien katkaisussa syntyvää hukkaa. Toukokuun aikana tutkimuksen sisältöä ja toteutusta pohdittiin yhdessä toimeksiantajan edustajien sekä oppilaitoksen työntekijöiden kesken. Kesäkuun alkupuolella tutkimuksen sisältö ja toteutus ratkesi, jonka jälkeen toimeksiantaja toimitti tietokannastaan kahden vuoden ajalta

tehtaan tukkien vastaanotossa mitattujen UPM Metsän oman hankinnan kautta toimitettujen tukkien pituudet. Muiden toimittajien tukkien pituuksia tutkimukseen ei otettu, sillä heillä on käytössään omat, mahdollisesti poikkeavat katkantaohjeet, jolloin ne olisivat voineet aiheuttaa työhön virheitä. Aineistoa hankittiin jokaisen tutkimuksen tekohetkellä käytössä olleen seitsemän tukkimittan osalta..

Tehtaan tukkimittarin tarkkuuden selvittämiseksi järjestettiin kaksi koeajoa, jotka suoritettiin samalla kaavalla. Tehtaalle saapuvista tukkinipuista valittiin sattumanvaraisesti koeniput, jotka levitettiin varastopaikalle. Tukkien pituudet mitattiin mittasaksien avulla ja lukemat kirjattiin ylös. Samassa yhteydessä tukit numeroitiin merkkusmaalilla kummastakin päästä, jotta pituustiedot voitiin yksilöidä. Tämän jälkeen tukkinippu laskettiin hautomoaltaaseen. Ensimmäisen koeajon mittaukset ja merkinnät suoritettiin 16.6.2022 ja toisen 6.7.2022.

Tukkien ollessa valmiita nostettavaksi haudonnasta suoritettiin ensimmäinen koeajo 21.6.2022 ja toinen 8.7.2022. Nosturin kuljettaja nosti tukit yksitellen haudonta-altaasta, jolloin tukkien päästä luettiin ja kirjattiin numeromerkintä, minkä jälkeen tukit laskettiin yksitellen tukkipöydälle, josta ne jatkoivat kuljettimilla kuorintaan ja siitä tukkimittariin. Tukkimittarin mitaamat pituustiedot ilmesyivät nosturikopin näytölle, josta ne kirjattiin ylös tukkien numerotiedon yhteyteen. Koeajon päätyttyä tiedot kirjattiin taulukkolaskentaohjelmaan vierekkäin mittasaksilla mitattujen tulosten kanssa.

### **5.3 Aineiston analyysit**

Aivan ensimmäiseksi selvitettiin tehtaan katkaisun todelliset laskennalliset alarajat tukkimittaluokittain laskemalla erikseen kunkin tukkiluokan tehtaan käyttämien sorvipölliin katkaisuohteiden mukaiset pölliin pituudet ja katkaisuraot yhteen. Tästä saatiin todellinen minimipituus jokaiselle tukkimittaluokalle, jotka olivat tehtaalla tutkimuksen tekohetkellä käytössä olleita minimipituuksia yhdestä neljään senttimetriä lyhyempiä.

Toimeksiantajalta saatu aineisto kirjattiin taulukkolaskentaohjelmistoon, jossa simuloitiin erilaisia katkontaikkunoita tukkipituusluokittain, jolloin nähtiin millainen vaikutus muutoksilla on katkaisuhukan määrään. Jokaisessa tukkimittaluokassa huomioitiin alarajan mitasta pituudet  $\pm 16$  cm väliltä ja jokaiselle pituudelle laskettiin oma tehdaskatkaisussa muodostuvan hukan määrä. Simuloinnissa ideana oli, että hakkuukoneen katkontaohjetta yhdellä senttimetrillä lyhentäessä jokaisen tukkipituuden prosenttiosuus siirtyy yhden senttimetrin lyhyemmän tukkipituuden kohdalle. Tukkien kokonaismäärä siis pysyi samana, mutta eri pituuksien osuudet ja sitä kautta muodostuneen hukan määrät muuttuivat. Simulointi suoritettiin niin tutkimuksen tekohetkellä käytössä olleille minimipituuksille kuin tutkimuksessa lasketuille todellisille minimipituuksille.

Tehtaan tukkimittarin tarkkuuden selvittämiseksi saaduista aineistoista laskettiin taulukkolaskentaohjelman avulla tehdasmittarin tarkkuus sekä tutkimuksen tekohetkellä tehtaalla käytössä olleen minimipituuden mukaisen katkaisun aiheuttama hukka että laskennallisen todellisen minimipituuden mukainen hukka. Koeajojen aineistoille suoritettiin luotettavuustesti, parittaisella kahden otoksen t-testillä keskiarvoille.

## **6 Tulokset**

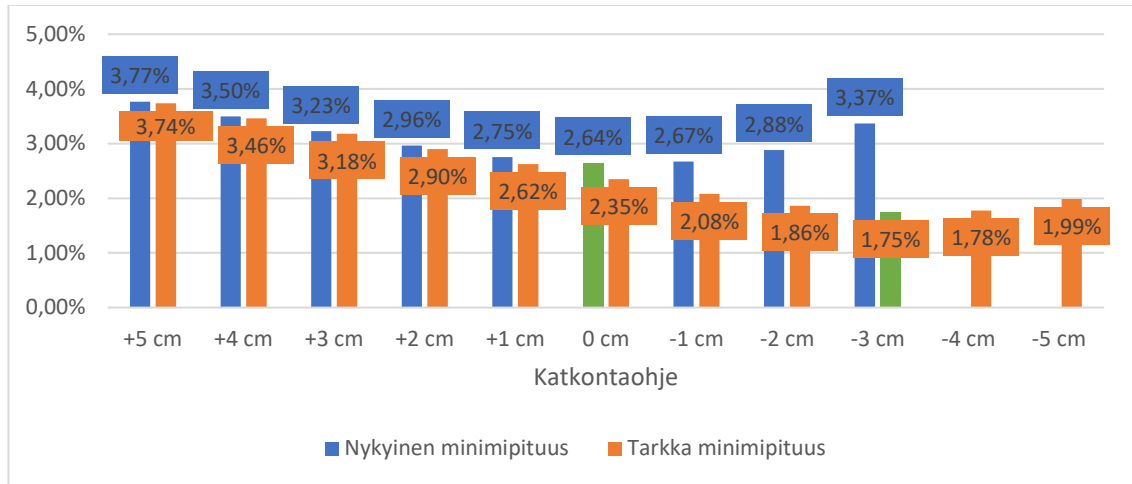
### **6.1 Optimaaliset katkontarajat**

Opinnäytetyössä selvitettiin tehtaan käyttämille kuudelle tukkipituudelle sellaiset katkontarajat, joilla hukkaa tulisi mahdollisimman vähän. Katkontarajat selvitettiin tehtaan käyttämälle nykyiselle sekä laskennalliselle todelliselle tukkien minimipituudelle. Kaavioissa katkontaluokka on esitetty hakkuukoneen katkontatavoitteen mukaisesti, eli nykyisten alarajojen mukaisesta pituudesta +5 senttimetriä. Lukema laskee yhdellä senttimetrillä aina pykälän oikealle mennessä, eli +4 cm kohdassa hakkuukoneen kuljettaja pyrkii katkomaan tukin sentin lyhyemmäksi kuin edeltävässä katkontaluokassa. Simuloinneissa tukkien pituusluokkien alarajat pysyvät nykyisinä. Alaraja on tukkiluokan ilmoitettu pituus,

esimerkiksi 400 cm ja 565 cm. Tulokset esitetään prosentteina. Tuloksissa ei ole huomioitu tehtaan tukkimittarin mahdollisia mittavirheitä.

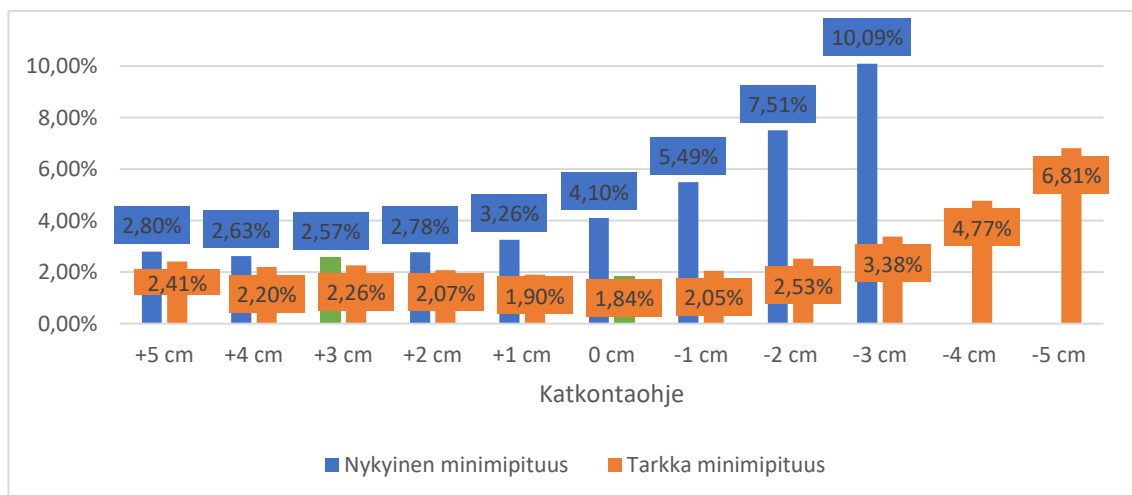
Nykyisellä alarajalla simuloitiin hukan määrää katkontaluokissa -3 – +5 cm välillä. Hyödynnettäväksi tukeiksi on huomioitu myös ne pituudet, jotka alittavat pituusluokan alarajan, mutta riittävät tehtaan nykyisin käyttämään minimipituuteen. Todellisella, jatkossa kutsutaan tarkalla, alarajalla simuloitiin hukan määrää katkontaluokissa  $\pm 5$  cm:n välillä, sillä osasta tukkipituuksia hukan määrä laskee pidemmälle katkontaohjeluokissa. Hyödynnettäväksi tukeiksi on huomioitu myös ne pituudet, jotka alittavat pituusluokan alarajan, mutta riittävät laskennalliseen minimipituuteen.

Alarajalla 330 cm:n mittaluokassa (kuvio 1) hakkuukoneen kuljettaja pyrkii katkomaan sen yleisimmin +5 cm pidemmäksi eli 335 cm pitkäksi. Tällöin hukkaa syntyy tehtaan katkaisussa 3,77 %, kun käytetään nykyistä minimipituutta. Optimaalisin katkontaohje nykyisellä minimipituudella olisi 0 cm, eli tavoiteltu katkontapituus olisi 330 cm, jolloin tässä luokassa hukkaa syntyisi 2,64 %. Nykyisellä katkontaohjeella +5 cm hukan määrä on suurempi kuin millään muulla mukaan otetulla katkontaohjeella. Tarkalla minimipituudella nykyisellä katkontaohjeella +5 cm, hukkaa muodostuu tehtaalla 3,74 %. Vähiten hukkaa muodostuisi katkontaohjeluokassa -3 cm, jolloin tukki pyrittäisiin katkomaan 327 cm:n pituuteen. Hukkaa muodostuu 1,75 %. Myös tarkalla minimipituudella nykyisin käytettävä +5 katkontaohje tuottaa enemmän hukkaan kuin muut vaihtoehdot.



Kuvio 1. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 330 cm:n tukeilla

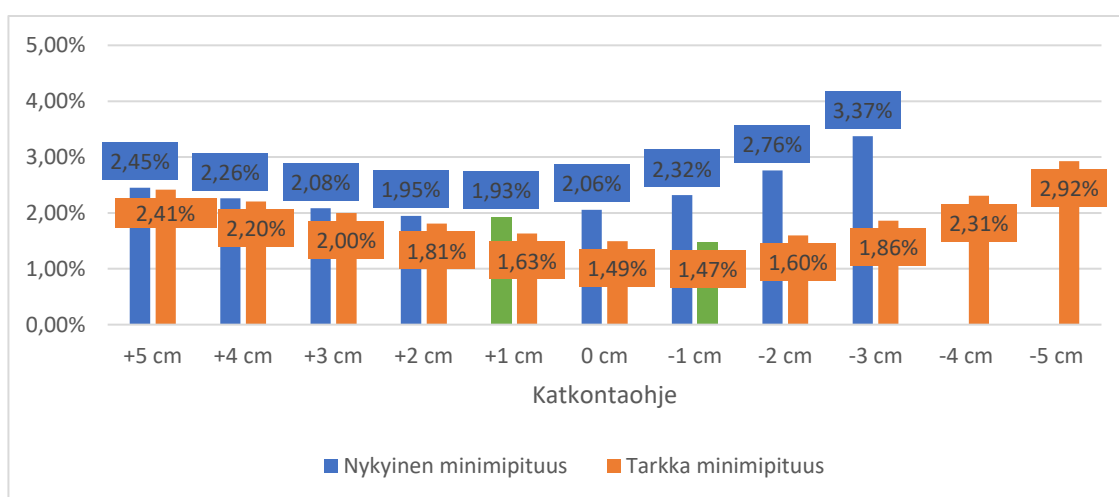
Seuraavassa mittaluokassa, jonka alaraja on 400 cm (kuvio 2), tukit pyritään nykyisen ohjeen mukaan katkomaan 405 cm:n pituisiksi, jolloin hukan määrä nykyisellä minimipituudella on 2,80 %. Optimaalisin tukin katkontapituus olisi 403 cm, katkontaohjeen ollessa +3 cm, jolloin hukan määrä laskisi 2,57 %:n tasolle. Tässä pituusluokassa hukan määrä alkaa kasvamaan nopeasti, sillä alimittaisesta tukista menee kyseisessä pituusluokassa paljon hukkaan, edellisen mittaluokan ollessa huomattavasti pienempi. Tarkalla minimipituudella +5 cm katkontaohjeella hukkaa muodostuu 2,41 %. Vähiten hukkaa muodostuu 0 cm katkontaohjeella, 1,84 %, jolloin tukit pyritään katkomaan 400 cm:n pituuteen.



Kuvio 2. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 400 cm tukeilla

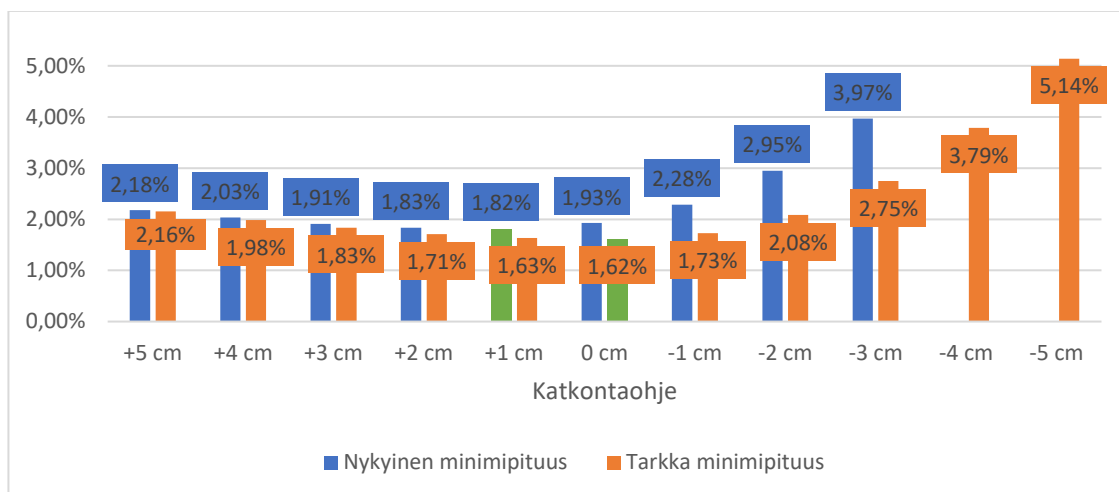


Kolmannessa mittaluokassa alaraja on 430 cm (kuvio 3), jolloin tukit pyritään nykyisin katkomaan metsässä 435 cm pituuteen. Tällöin hukkaa syntyy 2,45 %. Paras mahdollinen ohjepituus katkonnalle nykyisellä minimipituudella olisi 431 cm, katkontaohjeena +1 cm nykyisestä alarajasta, jolloin tehtaalla syntyvän hukan määrä laskisi 1,93 %. Tässä mittaluokassa tehtaalla syntyvän hukan määrä ei muutu merkittävästi pienemmissä muutoksissa ennen katkontaohjetta -2 cm. Tarkkaa minimipituutta käyttäessä nykyisellä katkontaohjeella hukkaa muodostuu 2,41 %. Hukan määrä on matalimmillaan 1,47 %, -1 cm katkontaohjeessa, jolloin tukit pyritään katkomaan 429 cm pituuteen.



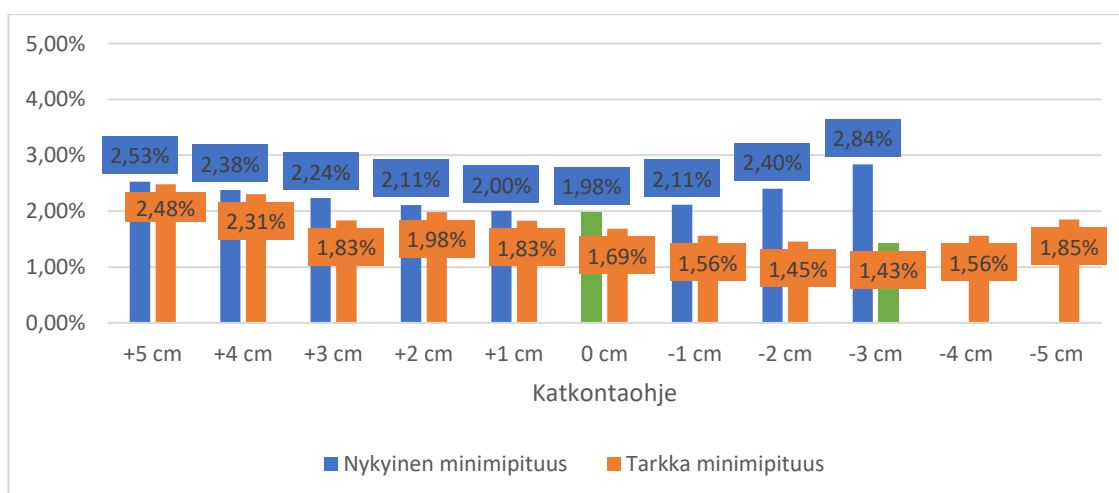
Kuvio 3. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 430 cm:n tukeilla

Mittaluokassa 490 cm (kuvio 4) tukit pyritään katkomaan 495 cm:n pituuteen, jolloin hukkaa syntyy 2,18 %. Myös tälle mittaluokalle nykyisellä minimipituudella paras katkontaohje olisi +1 cm, jolloin tukit pyritään katkomaan 491 cm:n pituuteen. Tehtaalla syntyvän hukan määrä olisi tällöin 1,82 %. Kuten edellisessä mittaluokassa, myös tässä hukan määrä ei muutu katkontaohjeluokkaan 0 cm saakka merkittävästi, mutta siitä ylöspäin hukan määrä alkaa kasvaa nopeammin. Tarkkaa minimipituutta käytettäessä nykyisellä katkontaohjeella hukkaa muodostuu 2,16 %. Pienimmillään hukan määrä saadaan laskemaan 1,62 %:iin käyttämällä 0 cm katkontaohjeluokkaa, jolloin tukit pyritään katkomaan 490 cm:n pituuteen.



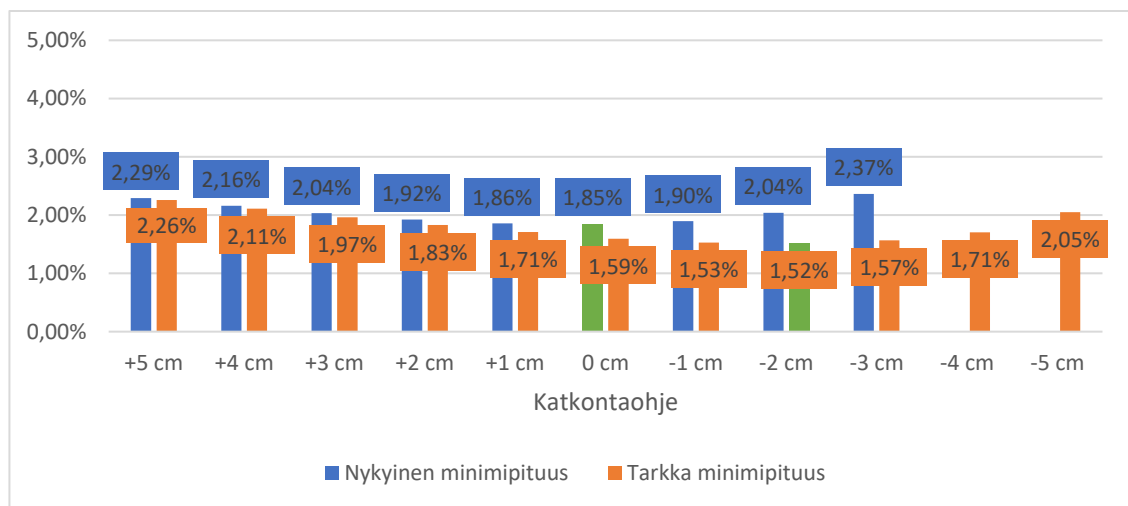
Kuvio 4. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 490 cm:n tukeilla

Mittaluokassa, jonka alaraja on 535 cm (kuvio 5), hakkuukoneen kuljettaja pyrkii katkontaohjeen +5 cm mukaisesti katkomaan tukit 540 cm:n pituuteen. Tässä katkontaohjeessa tehtaalla syntyy hukkaa 2,53 %. Hukan määrän kannalta nykyistä minimipituutta käytettäessä optimaalisin katkontaohje on 0 cm, jolloin tukki katkotaan 535 cm:n pituuteen ja katkontahukkaa muodostuu 1,98 %. Nykyisestä katkontaohjeesta muodostuvan hukan määrä on suurempi kuin muissa katkontaohjeluokissa paitsi -3 cm luokassa. Kun käytetään tarkkaa minimipituutta, nykyiselle katkontaohjeelle saadaan hukan määräksi 2,48 %. Vähiten hukkaa muodostuu katkontaohjeluokasta -3 cm, jolloin tukit pyritään katkomaan 532 cm:n pituuteen ja hukkaa muodostuu 1,43 %.



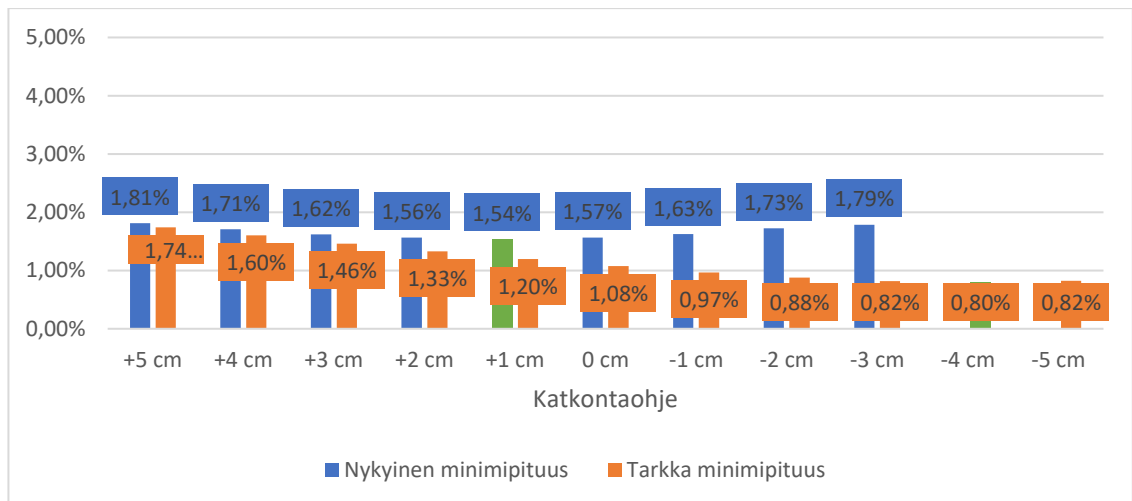
Kuvio 5. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 535 cm:n tukeilla

Pituusluokan alarajan ollessa 595 cm (kuvio 6), tukit pyritään katkomaan metsässä 600 cm:n pituuteen. Tässä +5 cm:n katkontaohjeluokassa hukkaa muodostuu tehtaalla 2,29 %. Vähiten hukkaa, 1,85 %, muodostuu katkontaohjeluokassa 0 cm, jolloin tukit pyritään katkomaan 595 cm:n pituuteen. Tässäkin pituusluokassa nykyinen katkontaohje muodostaa enemmän hukkaa kuin muissa katkontaohjeluokissa, paitsi luokassa -3 cm. Tarkalla minimipituudella ja nykyisellä katkonnalla hukkaa muodostuu 2,29 %. Hukkaa muodostuisi vähiten katkontaohjeluokassa -2 cm, jolloin tukit pyrittäisiin katkomaan 593 cm:n pituuteen. Tällöin hukkaa muodostuisi 1,52 %.



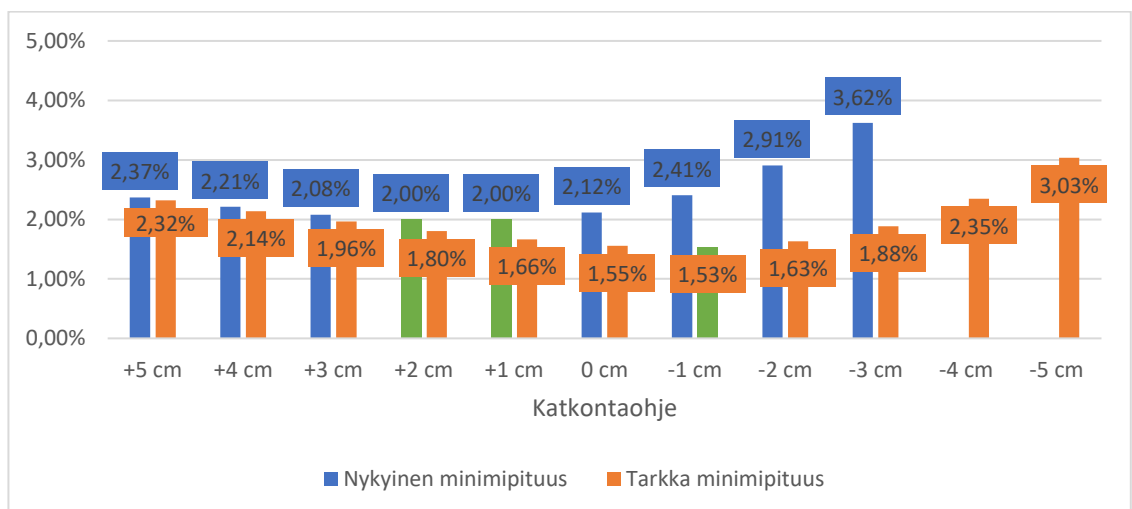
Kuvio 6. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 595 cm:n tukeilla

Suurimmassa pituusluokassa, 665 cm (kuvio 7) tukit voidaan katkoa joko neljään 60 tuuman sorvipölliin tai viiteen 50 tuuman sorvipölliin. Neljään sorvipölliin katkoessa riittää myös kyseisen tukkiluokan alarajaa huomattavasti lyhyempi tukki, mutta tavoitellun pituisilla tukeilla näin katkoen hukkaa muodostuu vastavasti enemmän. Tässä tutkimuksessa 665 cm:n tukkiluokan hukan määrän laskennassa on käytetty viiden 50 tuuman sorvipöllin katkaisua. Tukit pyritään nykyisellä +5 cm:n katkontaohjeella katkomaan 670 cm:n pituuteen, jolloin hukkaa muodostuu nykyisellä minimipituudella 1,81 %. Vähiten hukkaa syntyy katkontaohjeella +1 cm, eli 666 cm:n pituuteen katkomalla hukkaa syntyy 1,54 %. Tarkalla minimipituudella nykyisellä katkaisulla hukkaa syntyy 1,74 %. Pienimpään hukan määrään päästään -4 cm:n katkontaohjeluokassa, jolloin hukan määrä laskee jopa 0,80 %:iin. Tällöin tukit pyritään katkomaan 661 cm:n pituuteen.



Kuvio 7. Nykyisen ja tarkan minimipituuden erot hukan määrässä 665 cm:n tukeilla

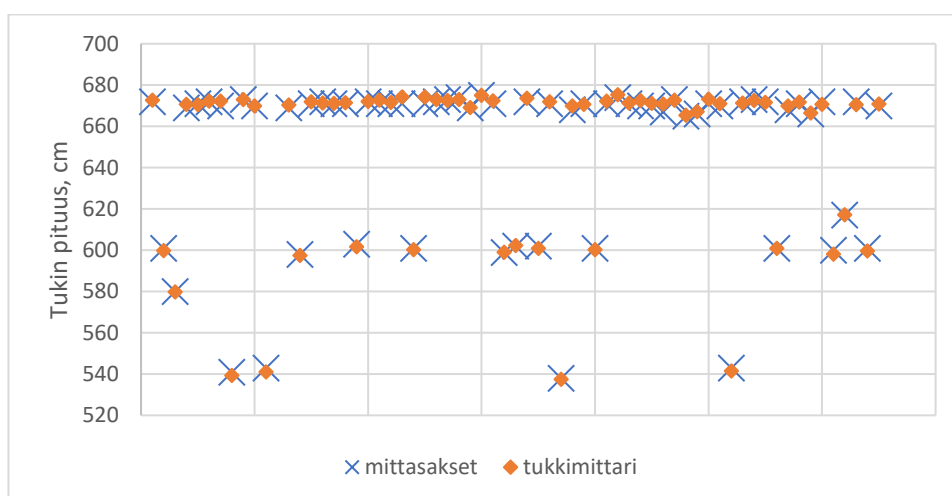
Tarkastettaessa hukan yhteismäärää (kuvio 8), nykyisellä minimipituudella nykyisessä +5 cm:n katkontaohjeluokassa hukkaa muodostuu 2,37 %. Tarkalla minimipituudella vastaava luku on 2,32 %. Hukkaa muodostuisi nykyisellä minimipituudella vähiten +2 ja +1 cm:n katkontaohjeella, kummassakin tasan 2 %:n verran. Tarkalla minimipituudella optimaalisin luokka olisi -1 cm, jolloin hukkaa muodostuisi 1,53 %.



Kuvio 8. Hukan määrä yhteensä nykyisellä ja tarkalla minimipituudella

## 6.2 Tehdasmittauksen tarkkuus

Tehtaan tukkimittarille suoritettiin kaksi koeajoa, sen tarkkuuden selvittämiseksi. Ensimmäisessä koeajossa (kuvio 9) tukkinipussa oli tukkeja 64 kappaletta ja niiden keskipituus mittasaksilla mitattuna oli 648,8 cm. Tukkimittarin mittausten perusteella keskipituus oli 648,8 cm. Tukkinipun koko oli 65 tukkia. Mittalaitteen mittavirhe pysyi -1,9 ja +3,8 cm:n välillä. Keskimääräinen mittavirhe koeajossa oli 0,34 cm, ja mittatarkkuus 99,95 %. Parittaisen kahden otoksen keskiarvojen t-testin p-arvo, joka kertoo todennäköisyyden sille, selittykö keskiarvojen ero pelkästään otantavirheellä, on 0,024, jolloin eroa voidaan sanoa tilastollisesti melkein merkitseväksi (Taanila 2020).



Kuvio 9. Koeajo 1. hajonta

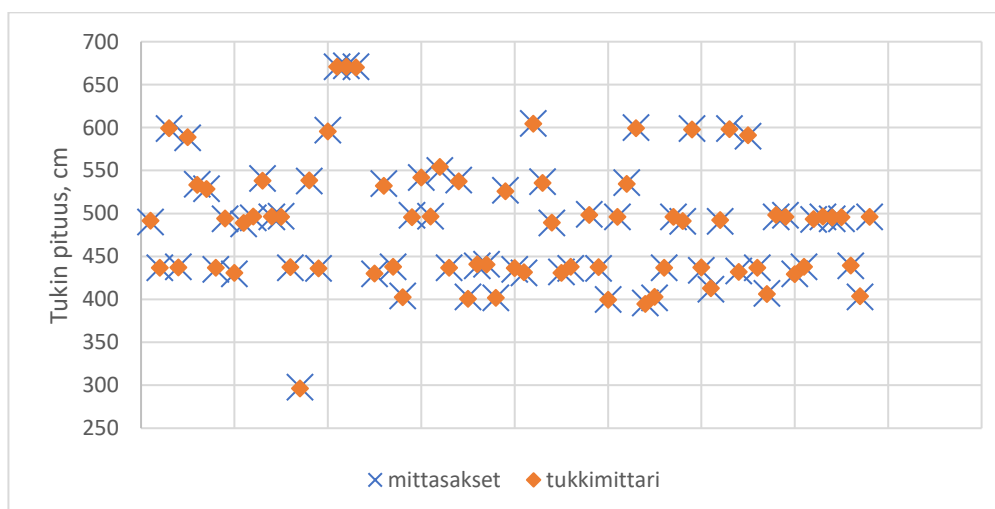
Koeajon tuloksista selvitetiin lisäksi mittalaitteen mittausrvirheiden aiheuttama katkaisuhukan määrä. Koeajon tukkierässä ei ollut suuria mittavirheitä, jotka väärentäisivät tulosta. Hukan prosentuaaliset määrät laskettiin tehtaan nykyisten käytössä olevien minimipituuksien sekä laskennallisten minimipituuksien mukaan. Lisäksi huomioitiin pisimpään 665 cm:n luokkaan menevien tukkien katkaisu joko neljäksi 60 tuuman sorvipölliksi tai viideksi 50 tuuman sorvipölliksi. Koeajossa ei tapahtunut suuria mittavirheitä, joten hukan määrä ei lisääntynyt merkittävästi. Laskennallisella minimipituudella hukan määrä kasvoi ensimmäisessä koeajossa (taulukko 1) kummassakin katkaisutavassa 0,05 %. Nykyisellä katkaisun minimipituudella hukan määrä kasvoi kummassakin katkaisutavassa

myös 0,05 %. Hukan määrä laskennallisen ja nykyisen minimipituuden välillä on niin mittasaksilla kuin tehtaan tukkimittarilla kaikissa luokissa 0,05 %.

Tulokset	tukkimittari	mittasakset
Laskennallinen minimipituus ja 5x50" katkaisu	2,08 %	2,03 %
Laskennallinen minimipituus ja 4x60" katkaisu	3,38 %	3,33 %
Nykyinen minimipituus ja 5x50" katkaisu	2,13 %	2,08 %
Nykyinen minimipituus ja 4x60" katkaisu	3,43 %	3,38 %

Taulukko 2. Hukan määrä koeajo 1

Toisessa koeajossa (kuvio 10) tukkinipussa oli tukkeja 76 ja niiden keskipituus mittasaksilla mitattuna oli 486,4 cm. Mittalaitteen mittaustulosten perusteella keskipituus oli 487,2 cm. Mittalaitteen mittavirhe pysyi -2,6—+4,4 cm:n välillä. Keskimääräinen mittavirhe oli kuitenkin vain 0,06 cm, joten mittalaitteen tarkkuudeksi saatiin toisessa koeajossa 99,98 %. Toisen koeajon parittaisen kahden otoksen keskiarvon t-testin p-arvoksi saatiin 0,695, joten tilastollinen testaus vahvisti koeajossa saatuja tuloksia.



Kuvio 10. Koeajo 2. hajonta

Lisäksi selvitettiin mittalaitteen mittausrvirheiden aiheuttama katkaisuhukan määrä. Myöskään toisen koeajon tukkerässä ei ollut suuria mittavirheitä, jotka väärentäisivät tulosta. Hukan prosentuaaliset määrät laskettiin tehtaan nykyisten käytössä olevien minimipituuksien sekä laskennallisten minimipituuksien mukaan. Lisäksi huomioitiin pisimpään 665 cm:n luokkaan menevien tukkien

katkaisu joko neljäksi 60 tuuman sorvipölliiksi tai viideksi 50 tuuman sorvipölliiksi. Koeajossa ei tapahtunut suuria mittavirheitä, joten hukan määrä ei lisääntynyt merkittävästi ja nykyistä minimipituutta käytettäessä hukkaa ei syntynyt laisinkaan lisää. Laskennallista minimipituutta käytettäessä hukan määrä kasvoi toisessa koeajossa (taulukko 2) kummassakin katkaisutavassa 0,12 %. Hukan määrä laskennallisen ja nykyisen minimipituuden välillä on huomattavasti suurempi toisessa koeajossa. Laskennallista minimipituutta viidellä 50 tuuman sorvipöllin katkaisulla käytettäessä hukan määrä on tehdasmittarilla 0,43 % pienempi kuin nykyisellä minimipituudella, ja mittasaksilla vielä korkeampi 0,55 %. Kun katkaisussa käytetään neljää 60 tuuman sorvipölliä, hukan määrä on tehdasmittarilla nykyisellä minimipituudella 0,44 % suurempi ja mittasaksilla 0,56 % suurempi.

Tulokset	tukkimitari	mittasakset
Laskennallinen minimipituus ja 5x50" katkaisu	2,22 %	2,10 %
Laskennallinen minimipituus ja 4x60" katkaisu	2,30 %	2,18 %
Nykyinen minimipituus ja 5x50" katkaisu	2,65 %	2,65 %
Nykyinen minimipituus ja 4x60" katkaisu	2,74 %	2,74 %

Taulukko 3. Hukan määrä koeajo 2

## 7 Pohdinta

### 7.1 Tulosten tarkastelu

Tuloksista voidaan nähdä, että jokaisen tukkimitan katkontaohjetta voitaisiin muuttaa jopa useita senttimetrejä nykyistä lyhyemmäksi eli käytännössä muutos kannattaisi tehdä tukkimittoihin. Tutkimuksen tekohetkellä tehtaan käyttämiä, eli nykyisiä minimipituuksia tarkastelemalla voitaisiin esimerkiksi tukkipituusluokka 330 cm muuttaa 325 cm:iin. Seuraava mittaluokka, 400 cm, voitaisiin puolestaan muuttaa 398 cm:iin. Tällöin hakkuukoneen kuljettaja käyttäisi edelleen samaa +5 cm:n katkontaohjetta, mutta kyseinen tavoitemitta olisi eri. Muutoksia voitaisiin mittaluokan sijaan tehdä myös katkontaohjeeseen, jolloin tavallisesti käytössä oleva +5 cm:n katkontaohje muutettaisiin mittaluokassa 330 cm

olemaan 0 cm, jolloin hakkuukoneen kuljettaja pyrkisi suorittamaan katkonnan juuri 330 cm:n kohdalle eli mittaluokan alarajalle. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa hakkuukoneen kuljettajissa epävarmuutta, sillä alimittaiset tukit eivät ole toivottuja, joten alarajalle tai jopa alarajan alle katkominen vaikkakin luvallisesti ei välttämättä tunnu mieluisalta. Laskennallinen eli todellinen minimipituus aiheuttaisi tällaisia entiselle alarajalle tai sen alle katkomista vaativia tilanteita jokaisessa tehdyssä simulaatiossa.

Suurimpana esimerkkinä voidaan poimia mittaluokka 665 cm, jossa katkontaohje voitaisiin muuttaa muotoon -4 cm. Jos taas muutettaisiin mittaluokkaa, se olisi kyseisessä mittaluokassa 656 cm. Tässä mittaluokassa hieman alimittaiset tukit eivät kuitenkaan haittaa yhtä paljon kuin muissa luokissa, sillä ne voidaan hyödyntää neljän 60 tuuman sorvipöllin katkaisussa, eivätkä ne putoa lyhyemmän mittaluokan mukaan katkottavaksi.

Voidaan kuitenkin pohtia, kannattaako jokaista tukkimittaa ja katkontaohjetta säätää yksilöllisesti erikseen vai keskimääräisesti pienimmän hukan muodostavan katkontaohjeluokan mukaan. Keskimääräisesti katkontaohje voitaisiin muuttaa nykyisellä minimipituudella joko +2 tai +1 senttimetriin. Mittaluokkien muutoksessa tämä tarkoittaisi, että jokaista mittaluokkaa lyhennettäisiin 4 tai 5 senttimetriä. Tarkalla minimipituudella katkontaohje muutettaisiin -1 senttimetriin ja mittaluokkia lyhennettäisiin 6 senttimetrillä. Yksilöllisesti säädettäessä voisi myös pohtia, kannattaako tehdä radikaaleja usean sentin muutoksia kerralla vai tehdä pienempiä muutoksia ja seurata niiden vaikutuksia tehtaalle saapuvien tukkien pituuksissa. Muutosten ja niiden suuruuden tarpeeseen vaikuttaa olennaisesti myös se, käytetäänkö nykyistä tehtaan käyttämää minimipituutta vai otettaisiinko laskennallinen, tarkka minimipituus käyttöön.

Lisäksi voidaan miettiä, voisiko hakkuukoneen kuljettajalle antaa enemmän valtuuksia muuttaa katkontaikkunaa olosuhteiden mukaan, esimerkiksi talvella pakkasten aikaan, kun mittauksen tarkkuus pysyy parempana verrattuna nila-aikaan. Hakkuukoneen kuljettajat tekevät jonkin verran myös omia päivittäisiä pituusmittauksen tarkkuuskontrolleja, joita ei tallenneta tai seurata millään tapaa.



Jos kuljettajien omia mittauksia alettaisiin seurata, voitaisiin havaita tarkemmin, milloin ja miksi pituuden mittauksessa syntyy ongelmia eniten.

Tukkimittoja lyhettäessä olisi erityisen tärkeää, että tehtaan tukkimittari toimisi mahdollisimman tarkasti, sillä lyhyemmissä tukeissa ei ole niin paljoa varaa epätarkkuuden aiheuttamiin mittavirheisiin. Tukkimittarin mitatessa juuri ja juuri riittävän pituinen tukki liian lyhyeksi, se putoaa lyhyemmän tukkiluokan mukaiseen moduulien katkaisuun ja hukkaa muodostuu enemmän. Tukkimittoja lyhettäessä näitä juuri riittävän pituuden täyttäviä tukkeja alkaisi tulla tehtaalle enemmän, jolloin tukkimittarin epätarkkuus voisi aiheuttaa paljon vääriä tukkiluokan muutoksia. Tutkimuksen koeajoissa tukkimittari toimi kuitenkin todella tarkasti, jolloin turhia hukkapätkiä ei päässyt syntymään paljoa.

Voidaan kuitenkin poimia koeajon tuloksista yksi poikkeama mittaustuloksessa, jolloin tukin katkaisuluokka on muuttunut ja hukkaa syntyy merkittävästi enemmän. Mittasaksilla tukin pituudeksi on mitattu 527 cm, jolloin tarkkaa minimipituutta käytettäessä se on riittävän mittainen katkottavaksi mittaluokan 535 cm mukaan. Tehtaan tukkimittari on kuitenkin mitannut tukin 526 cm:n mittaiseksi, jolloin se on alimittainen ja putoaa edellisen mittaluokan katkaisuun ja hukkaa muodostuu yli 40 senttimetriä lisää. Tosielämässä tukki kuitenkin olisi oikeinkin mitattuna joutunut alempaan mittaluokkaan, sillä tehtaan käyttämät minimipituudet ovat hieman suuremmat kuin tässä esimerkissä käytetyt laskennalliset minimipituudet. Joka tapauksessa, tällaiset mittavirheet ovat merkittäviä sillä niitä sattuu myös nykyisissä minimipituuksissa, mutta koeajoihin ei osunut niitä lainkaan. Virheellinen mittaustulos voi aiheuttaa ongelmia myös toiseen suuntaan, jos ensimmäinen sorvipölli katkotaan virheellisen mittaustuloksen mukaan liian pitkäksi jää viimeinen sorvipölli vastaavasti alimittaiseksi.

Vuorenpään Metsätehon raportissa (1997) on tutkittu sahatavaran tasausvaraa ja todettu, että määritellyn minimitasauksen ollessa tasausvaraa suurempi sydäntavaraa joudutaan tasaamaan yhtä moduulia alempaan sahatavaran moduulimitaan. Saman voimme todeta myös tämän opinnäytetyön koeajoista, kuten edellä on esitetty. Raportin mukaan tasausvaran vähyyden aiheuttavat hakkuukoneen mittalaitteen mittausrvirheet, joten parantamalla hakkuukoneen pituusmittauksen tarkkuutta, voidaan vaikuttaa sahauksen kannattavuuteen

lyhentämällä tasausvaroja. Samassa kappaleessa kuitenkin todetaan, että mahdollisimman pieneen tasausvaraan pyrkiessä samalla syntyy mittausvirheiden takia epäedullisia tukkeja, joihin joudutaan tekemään ylimääräisiä tasauksia. Raportissa on havaittu tasausvaraa tärkeämmäksi tekijäksi laadukas apteeraus, mutta lisäksi todetaan, että liian lyhyt tasausvara aiheuttaa enemmän kustannuksia kuin liian pitkä. (Vuorenpää 1997, 20, 24–25.) Toisessa Metsätehon raportissa Korpilahti, Hujo ja Poikela (2006) ovat todenneet, että vaikka hakkuukoneiden pituusmittaus ja -katkontaominaisuuksia on kehitetty monin tavoin todella tarkoiksi, vaikuttaa siltä, ettei niiden kaikkia säätömahdollisuuksia hyödynnetä täysin. Tätä voitaisiin parantaa esimerkiksi antamalla hakkuukoneen kuljettajille lisää koulutusta ja toimittaa Metsätehon laatima kooste hyvistä käytännöistä. (Korpilahti ym. 2006, 30.)

## 7.2 Luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta tarkasteltaessa täytyy huomioida, että simuloinnit suoritettiin tietokoneella laskennallisesti, joten tosielämässä tulokset eivät välttämättä olisi vastaavat. Erilaisia hakkuilla tapahtuvia muuttujia ei ole voitu huomioida tutkimuksessa. Tutkimuksen luotettavuuteen on voinut vaikuttaa tutkimusaineistossa mukana olleiden hankintapuiden katkonta, sillä niitä ei välttämättä ole katkottu samoilla ohjeilla kuin toimeksiantajan alihankkijoiden tukit. Ilman hankintapuita tulokset olisivat voineet olla vielä parempia. Luotettavuutta puoltaa aineiston laajuus, sillä aineistoa on kerätty kahden vuoden ajalta. Lisäksi on tärkeää, että aineistoa on jokaiselta vuodelta, sillä vuodenaikojen vaihtelun vaikutukset katkonnan tarkkuuteen on suuret. Aineistot ja simuloinnit on suoritettu käsin kirjaamalla taulukkolaskentaohjelmaan, joten näppäilyvirheen mahdollisuus on olemassa. Virheiden huomaamiseksi taulukot on tarkastettu tarkasti kahden henkilön toimesta.

Tukkimittarin tarkkuuden selvityksessä tutkimuksen luotettavuuteen on voinut vaikuttaa mittauksen suorittaminen käsin sekä tukkien päissä olevien numeroiden epäselvyys sekä koeajojen vähyys. Aineistolle tehdyt luotettavuustestit kuitenkin tukivat tutkimuksen tuloksia.

### 7.3 Hyödynnettävyys ja jatkotutkimukset

Tuloksia hyödyntämällä voidaan vähentää tehtaalla syntyvää tukin katkaisuhukkaa ja sen kautta parantaa tehtaan hyötysuhdetta sekä vähentää hankittavan puun määrää, joka tuo taloudellisia säästöjä. Puun katkontaan liittyy kuitenkin monia rajoitteita ja ongelmia, joten täydelliseen katkontaan ei päästä, ennen kuin hakkuukoneet ja tehdasmittarit pystyvät 100 %:n mittaustarkkuuteen. Hakkuukoneen mittaustekniikkaa kehittämällä tarkemmaksi esimerkiksi laserskannereiden tai konenäön avulla tulevaisuudessa voitaisiin päästä lähemmäs tuota lukemaa. Moniin ongelmakohtiin on kuitenkin mahdollista vaikuttaa suuresti kouluttamalla ja perehdyttämällä henkilöstöä sekä pitämällä huolta koneiden kunnosta ja mittareiden kalibroinnista. Jatkotutkimuksena voitaisiin kokeilla tutkimuksen tulosten toimivuutta todellisuudessa.

Katkaisuhukkaa syntyy myös monessa muussa tuotantovaiheessa. Esimerkiksi sahausrako, joka on usein noin 8–10 mm katkaisua kohden, aiheuttaa jokaisesta tukista jopa useita senttimetrejä hukkaa. Perinteisen katkaisusahan sijaan voisi tutkia, toimisiko ohuempi teräinen sirkkeli tai esimerkiksi vesileikkuri tukkien katkaisussa ja vähentäisi katkaisusta syntyvää hukkaa.

Myös turhat tukkien pään tasaukset voisi kenties jättää pois. Sorvipölliin katkaisussa voitaisiin miettiä, voisiko viimeisen pöllin tarvittaessa jättää pidemmäksi. Tällöin hieman ylipitkästä tukista ei tasattaisi ylittävää pätkää hukkaan, vaan se voitaisiin hyödyntää viilun jatkamisessa. Nykytekniikka ei kuitenkaan vielä mahdollista tällaista, sillä viilun jatkoslinjalla viiluarkkien tulee olla samanpituisia.

Pituudeltaan hieman alimittaisia tukkeja taas voitaisiin hyödyntää käytössä jättämällä kokonaan pois tai pienentämällä viilun reunoista pois puukotettavaa taseusvaraa, joka usein on 1 cm:n verran kummastakin reunasta. Jos esimerkiksi sorvipölli on 397 cm pitkä, se katkotaan 330 cm:n tukkimitan mukaisesti moduuleihin, mutta jos reunojen taseusvara olisikin puoli senttimetriä kapeampi, riittäisi 397 cm:n sorvipölli myös 400 cm:n tukkimitan mukaiseen katkaisuun.

Tukkimitaluokan 400 cm käytöstä poistamista voitaisiin harkita, sillä kyseisen mittaluokan tukin ollessa alimittainen tai tehtaalla tukkimittarin mitatessa tukin alimittaiseksi ja siirtyessä lyhyempään 330 cm:n tukkimittaluokan katkaisumoduuliin, syntyy hukkaa jopa 70 cm. Muissa tukkimittaluokissa katkaisuhukkaa voi syntyä yleensä enintään 30 cm.

Katkaisuhukka ei kuitenkaan voi mennä määräänsä pienemmäksi. Katkaisuhukan vähentämisestä voisi varmasti tehdä paljon jatkotutkimuksia, sillä vaikka yksittäisen tutkimuksen tulokset eivät välttämättä yksinään tarjoaisi suuria säästöjä, useasta pienemmästä säästöstä alkaa lopulta muodostua merkittäviä.

## Lähteet

- Ahonen, O-P. & Lemmetty, J. 1995. Leimikon tukkijakauman ohjauksen keinot. Metsätehon katsaus 5/1995. Helsinki: Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1995\\_05.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1995_05.pdf). 24.8.2022.
- Ammattikorkeakouluasetus 352/2003.
- Ammattikorkeakoululaki 351/2003.
- Farmit. 2010. Koivu(vaneri)tukki. Farmit Oy. 29.4.2010. <https://www.farmit.net/metsa/puukauppa/metsasta-kayttajalle/puutavaralajit/koivuvaneritukki>. 6.9.2022.
- Hakala, J.T. 2004. Opinnäytetyöopas ammattikorkeakouluille. Helsinki: Gaudeamus.
- Juvonen, R. & Kariniemi, J. 1991. Mekaaninen metsäteollisuus 1: Vaneriteollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Kaurala, H., Herajärvi, H. & Verkasalo, E. 2004. Sahakoivun laatu puhtaissa koivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä. Metsätieteen aikakauskirja 2/2004: 129–143. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff04/ff042129.pdf>. 28.4.2022.
- Koponen, H. 2002. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. 3. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.
- Korpilahti, A., Hujo, S. & Poikela, A. 2006. Katkontatarkkuuden ylläpito hakkuukoneilla. Metsätehon raportti 195. Helsinki: Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_195.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_195.pdf). 24.8.2022.
- Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.
- Leinonen, L. 2013. Alamittaisten koivukuitupuurunkojen korjuun yleisyys, sen vaikutukset, sekä koivukuitupuun eri läpimittojen ja katkontapituuksien vertailu. University of Eastern Finland. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu.
- Lukkarinen, E. & Marjomaa, J. 1998. Rungon kapenemisen ennustaminen hakkuukoneen mittalaitteella. Ennustusmenetelmien vertailu. Metsätehon raportti 35. Helsinki: Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_035.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_035.pdf). 24.8.2022.
- Marjomaa, J. 1996. Tukin mittaus optisella tukkimittarilla. Metsätehon katsaus 1/1996. Helsinki: Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1996\\_01.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1996_01.pdf). 24.8.2022.
- Mennala, M. 2020. Puuston, puuston laadun ja katkontatavoitteiden yhteensovittaminen jakauma-apterauksessa. University of Eastern Finland. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu.
- Metsäteollisuus Ry. 2006. Vanerikäsikirja. Lahti: MarkPrint Oy. <https://www.wisaplywood.com/siteassets/documents/brochures/handbook-fi.pdf>. 5.5.2022.
- Muranen-Granö, S. 2011. Kuusivaneritukin laatu ja katkonta. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011113016466>. 12.5.2022.
- Piira, T., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla

- katkontaohjeilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2007: 19–37. <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6099.pdf>. 24.8.2022.
- Pulkkinen, M. 2009. Lämpötilan vaikutus puun rungon mekaanisessa pituudenmittauksessa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Puutekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200912047055>. 12.5.2022.
- Puuhuolto. 2022. Tukkien mittaus sahalla. <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/tukkien-mittaus-sahalla/>. 24.8.2022.
- Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2018. Hakkuukoneen mittaustarkkuuden ylläpito. [https://puuhuolto.fi/omavalvonta/wp-content/uploads/sites/6/2018/10/Suositus\\_Hakkuukoneen-mittaustarkkuuden-yll%C3%A4pito\\_12092018.pdf](https://puuhuolto.fi/omavalvonta/wp-content/uploads/sites/6/2018/10/Suositus_Hakkuukoneen-mittaustarkkuuden-yll%C3%A4pito_12092018.pdf). 12.5.2022.
- Taanila, A. 2020. SPSS: Kahden riippumattoman otoksen vertailu. Akin menetelmäblogi. 26.9.2020. Blogi. <https://tilastoapu.wordpress.com/tag/kahden-riippumattoman-otoksen-t-testi/>. 30.8.2022.
- Tapio. 2021. Tukkipuun mitta- ja laatuvaatimukset. <https://www.metsanhoitokortisto.fi/puukauppa-ja-puunkorjuu/tukkipuun-mitta-ja-laatuvaatimukset/>. 28.4.2022.
- Tietoarkisto. 2022. Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/>. 24.8.2022.
- UPM. 2021. UPM Plywood tavoittelee tuloskasvua investoimalla Joensuun vaneritehtaan kilpailukykyyn – henkilöstön sitoutuminen olennaista investointihankkeelle. <https://urly.fi/2wOB>. 10.5.2022.
- UPM Kymmene Oyj. 2022. Vaikutamme kestäväillä valinnoilla. Vuosikertomus 2021. PunaMusta Oy. <https://user-fudicvo.cld.bz/UPM-Vuosikertomus-2021/2-3/>. 10.5.2022.
- UPM Metsä. 2022. Lujuutta, tarkkuutta ja täsmällisyyttä ovat Joensuun vaneritehtaan asiakkaiden laatuvaatimukset. <https://www.upmmetsa.fi/tieto-ja-tapahtumia/artikkelit/joensuussa-tehdaan-kovuvaneria/>. 6.9.2022.
- UPM Wisa Plywood. 2022. UPM Joensuu Plywood Mill. <https://www.wisaplywood.com/contacts/production-units/joensuu/>. 10.5.2022.
- Varis, R. 2017. Puulevyteollisuus. Porvoo: Bookwell Oy.
- Vilkka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. <http://hanna.vilkka.fi/wp-content/uploads/2014/02/Tutki-ja-mittaa.pdf>. 7.8.2022.
- Vuorenpää, T. 1997. Mittaustarkkuuden vaikutus sahan tukkijakauman ohjaukseen. Metsätehon raportti 34. Helsinki. Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_034.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_034.pdf). 24.8.2022.
- Rummukainen, A. 2014. Suomalaisella koivulla vuorataan kaasutankkereita – yhden laivan eristämiseen tarvitaan kokonaisen vaneritehtaan kuukauden tuotanto. Yle. 18.11.2014. <https://yle.fi/uutiset/3-7635367>. 6.9.2022.