

Automaattisen vuodenajankorjauksen käytönnoton seuranta tukkilajittelussa

Tiivistelmä

Tekijä Kätkyntiemi, Aleks	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 52	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönoton seuranta tukkilajittelussa		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Puutekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Metsä Fibre Oy, Rengon saha		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Metsä Fibren Rengon sahalle. Työn tarkoituksena oli seurata ja tutkia tukkilajittelun tukkiröntgenmittarin uuden mittaustulostavan käyttöönoton vaikutuksia tukin mittaukseen ja tukkien luokkaan osumiseen.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään tukin hankinta-, lajittelu- ja sahausprosessiin liittyviä tekijöitä. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään tukin ja kuoren mittaamiseen liittyviä menetelmiä ja tekijöitä.</p> <p>Tutkimuksessa tehtiin koemittauksia ennalta valituille tukkiluokan tukeille. Koemittauksissa mitattiin kuorellisia testitukkeja tukkilajittelun tukkiröntgenmittarilla uudella ja vanhalla mittaustulostavalla sekä sahan mittarilla kuorettomia tukkeja. Testitukkeja mitattiin käsin tukkimittareiden mittaustulosten varmentamiseksi. Koetulosten lisäksi tutkimusaineistona käytettiin sahan ja tullilajittelun mittausraportteja.</p> <p>Tutkimuksen tulokset osoittavat, että uusi mittaustulostavatapa vaikuttaa tukkien mittaukseen verrattuna vanhaan mittaustulostavatapaan. Uudella mittaustulostavataavalla tukkien lajitteluhalkaisija mitattiin aiempaa pienemmäksi sekä kuoren osuus aiempaa isommaksi.</p>		
Asiasanat tukkimittari, tukkiröntgen, tukkilajittelu		

Abstract

Author Kätkytniemi, Aleks	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 52	
Title of Publication Monitoring the introduction of automatic season correction in log sorting		
Degree and field of study Bachelor of Engineering, Wood technology		
Name, title and organisation of the client Metsä Fibre Oy, Renko sawmill		
Abstract <p>The thesis was commissioned Metsä Group's Rengo sawmill. The aim of this thesis was to monitor and investigate how the introduction of a new method of measurement for X-ray log scanner influences log measuring and the sorting of logs into classes.</p> <p>In the theoretical part, factors related to the log sourcing, sorting and sawing process were reviewed. In addition, the theoretical part deals with methods and factors related to the measurement of logs and bark.</p> <p>In the experimental part, test measurements were made for pre-selected log class logs. In the test measurements, barked logs were measured with X-ray log scanner with the new and old method of measurement in log sorting, and logs without bark were measured with sawmill log scanner. In addition, test logs were measured manually to verify the measurement results of the log scanners. Measurement reports from the sawmill and log sorting were used as research material.</p> <p>The results of the tests show that the new method of measurement in the log scanner affects the measurement of logs compared to the old method. With the new method, the sorting diameter of the logs was measured smaller and the proportion of the bark measured larger than before.</p>		
Keywords log scanner, X-ray log scanner, log sorting		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tukit metsästä sahalle	2
2.1	Puunhankinta.....	2
2.2	Mittaus ja katkonta.....	2
3	Sahatavaran valmistuksen prosessikuvaus ja laitteet	5
3.1	Tukkilajittelu.....	5
3.2	Sahaansyöttö ja kuorinta	6
3.3	Tukin mittaus ja pyöritys	8
3.4	Sahaus	8
4	Rengon sahan tukkien lajittelu	10
4.1	Lajittelulinja.....	10
4.2	Latvaläpimitta lajittelutapa.....	11
5	Tukkien mittaus ja lajittelu	13
5.1	Mittaus.....	13
5.2	Mittauslaadun varmistaminen	17
5.3	Lajittelu	19
6	Kuoren mittaus ja kuorikerroin	23
6.1	Puun kuori	23
6.2	Manuaalinen kuorikerroin.....	24
6.3	Automaattinen vuodenajankorjaus.....	25
6.4	Työhypoteesit	27
7	Tutkimusaineisto ja menetelmät.....	29
7.1	Tutkimusaineisto.....	29
7.2	Koesuunnitelma.....	29
7.2.1	Ensimmäinen koemittaus.....	29
7.2.2	Toinen koemittaus	32
8	Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu	35
8.1	Ensimmäinen koemittaus.....	35
8.2	Toinen koemittaus	39
8.3	Raporttien tuloksia.....	43
8.4	Tuloksien yhteenveto.....	46
9	Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset.....	48
	Lähteet	50

1 Johdanto

Kuorettomien tukkien tarkka mittaus parantaa tukkien käyttösuhdetta ja sahatavaran laatua sekä pienentää raaka-ainehukkaa. Liian isosta tukista asetteeseen nähden syntyy raaka-ainehukkaa. Liian pienestä tukista syntyy vajaasärmäisiä sahatavaroita, mikä pienentää arvosaantoa. Yhden millimetrin systemaattinen mittausvirhe voi aiheuttaa satojentuhansien eurojen tappiota raaka-ainemenetyksinä vuodessa (Varis 2017, 100). Kuorellisten tukkien tarkka kuorettoman profiilin mittaus onkin ollut yksi tärkeimmistä 2010-luvun tutkimus- ja kehityskohteista sahateollisuudessa (Hujjo, Hämäläinen & Korpilahti 2006, 5).

Tukkiröntgenien käytön lisääntyessä ja yleistyessä, röntgenlaitteiden mittausta kehitetään edelleen. 2020-luvun tutkimus- ja kehitystyön kohteena on ollut tukkimittarin mittaustietojen hyödyntäminen tuotannonohjauksessa ja puunhankinnassa (Hämäläinen & Melkas 2012, 5). Kehityksen seurauksena tukkimittareista saadaan aina enemmässä määrin erilaista mittaustietoa. Esimerkiksi tukkien kosteuden mittausta on alettu kehittää tukkien vastaanotossa (Hämäläinen & Melkas 2021, 2).

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Metsä Fibre Oy:n Rengon saha. Olen suorittanut sahallalla työharjoittelut tuotannon työntekijänä sekä toimihenkilönä erilaisissa projekteissa. Opinnäytetyönprosessin aikana olen tutustunut tukkilajittelun operaattorin tehtäviin ja saanut paljon tietoa tukeista, lajittelulinjasta ja sen laitteista.

Rengon saha valmistaa kuusesta sahatavaraa moniin eri käyttötarkoituksiin ja -kohteisiin. Saha käyttää vuodessa noin 650 000 kuutiota tukkeja, joista valmistuu noin 320 000 kuutiota valmista kuusisahatavaraa. (Metsä Fibre Oy.) Kapasiteetiltaan saha on Suomen mitakaavassa keskikokoinen.

Työn tavoitteena oli tutkia tukkiröntgenin mittaustuloksia tukkien luokkiin osumisesta uuden mittaaslaskennan käyttöönoton jälkeen. Koemittausten tavoitteena oli tutkia uuden mittaaslaskennan eroa vanhaan mittaaslaskentaan sekä uuden mittaaslaskennan paikkaansapitävyyttä kuorellisen tukin kuoretonta mittaa mitatessa. Uusi mittaaslaskenta, automaattinen vuodenajankorjaus, huomioi laskennassa tukkien tuorekosteuden. Tuorekosteuden on huomattu olevan yhteydessä systemaattisiin mittausvirheisiin. Automaattinen vuodenajankorjauksen käyttöönoton tarkoituksena on parantaa tukkiröntgenin mittatarkkuutta ja tukkien luokkaan osumista sekä poistaa manuaalisesti säädettävän kuorikertoimen käyttö.

Tukkien lajittelu- ja sahausprosessin mittaustietoja käytetään työssä aineistona vertailtaessa automaattisen vuodenajankorjauksen vaikutuksia lajittelun ja tuotannon kehitykseen. Koemittaukset toteutetaan kahdelle tukkiluokalle. Koemittauksien tuloksista voidaan tarkastella mittaaslaskentatapojen eroja ja mittauksien tarkkuuden onnistumista.

2 Tukit metsästä sahalle

2.1 Puunhankinta

Sahan raaka-aineen hankinta alkaa puukaupalla. Puukaupoissa tarjotaan metsänomistajalle usein puun oston ja korjuun lisäksi erilaisia metsänhoitopalveluita. Puukaupassa määritellään hakkuukohteena oleva leimikko ja sovitaan puutavaralajeista. (Varis 2017, 38–41.) Leimikolla tarkoitetaan metsäkuviota, joka on suunniteltu hakattavaksi. Nykyisin leimikkonimityksen sijaan voi suunnitellusta hakkuleimikosta käyttää nimitystä ”hakkuualue”. (Suomen Metsäyhdistys, Leimikko (stand marked for harvesting).) Myöhemmin hakattavasta metsäkuvioista käytetään nimitystä hakkuualue. Puutavaralajeja ovat muun muassa tukki, pikkutukki, parru, kuitupuu, pylväs ja metsäenergiapuu, joista tukkeja ja pikkutukkeja käytetään pääsääntöisesti sahoilla. (Varis 2017, 41–42; Suomen Metsäyhdistys, Puutavaralajit (timber grades)).

Puukaupan yhteydessä määritellään puutavaran mitta- ja laatuvaatimukset, jotka vaihtelevat yritys- ja laitoskohtaisesti. Yleisimmät mittavaatimukset koskevat tukkien enimmäis- ja vähimmäisdimensioita. Esimerkiksi tukkien minimi- ja maksimipituudet sekä läpimitat latvasta ja tyvestä määritellään vaatimuksissa. Laatuvaatimuksia ovat esimerkiksi suurin sallittu oksaisuus, laho- sekä muotovikojen esiintyminen. (Varis 2017, 42.)

Hakattujen tukkien toimituksista sahoille hoitaa yritysten puunhankintaorganisaatiot. Puunhankintaorganisaatio suunnittelee tukkien toimituksista ja vastaanotoista yhdessä kohdesahan kanssa. (Varis 2017, 49.) Tukkien tarve suunnitellaan monia kuukausia tulevaisuuteen, alustavien pitkän aikavälin tuotantosuunnitelmien ja sahausbudjettien mukaan. Tuotannon suunnittelu tarkentaa tukkien tarvesuunnitelmia päivä- ja viikkotasolla tuotannon toiminnan mukaan. (Varis 2017, 59–61.)

2.2 Mittaus ja katkonta

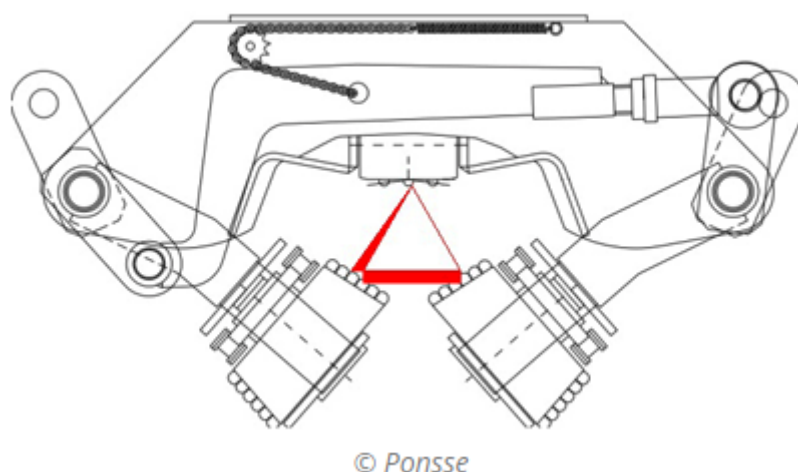
Tukkien hinnoittelumenetelmä sovitaan puukauppoja tehdessä. Hinnoittelumenetelmiä puukaupoissa ovat tavaralaji-, runko- ja rungonosahinnoittelu. Hinnoittelumenetelmä vaikuttaa tukeista ja sen osista saatavaan hintaan menetelmästä riippuen. Lisäksi hinnoittelumenetelmä vaikuttaa harvesterin suorittamaan katkontaan metsässä. (Varis 2017, 42–44.)

Tukkien lopullinen hinta varmennetaan puutavaralain mukaisella mittausmenetelmällä, suorittamalla luovutusmittaus. Mittausmenetelmiä ovat hakkuukone-, latvakiinto-, pino-, tehdas- ja kuormainvaakamittaus. Mittaustavat antavat tuloksen kuorellisina kiintokuutiometreinä. Hakkuukone- tai tehdasmittausta käytettäessä mittausmenetelmänä laitteiden

mittatarkkuuksista koskevat tulokset on esitettävä niitä pyydetessä. (Varis 2017, 44; Puuhuolto 2018a.)

Harvesterit suorittavat suurimman osan hakkuista. Harvesteri apteeraa eli katkoo tukit mitta- ja laatuvaatimusten mukaisesti. Katkonnassa tukeista pyritään tekemään mahdollisimman korkea-arvoisia. Katkonnassa tulee ottaa huomioon syntyvien tukkien tukkijakauma. Jos kaikki tukit katkotaan pyrkien tekemään arvokas tilavuudeltaan suuri tukki, tukkien jakaumasta mittojen näkökulmasta tulee epäsuotuisa. Tämän takia katkontaa suoritetaan usein jakauma- ja arvo-apteerausta yhdistelemällä erilaisten matriisien avulla. Matriiseihin määritellään tukkien mitta- ja laatuvaatimukset sekä pituusjakaumatavoitteet läpimitta- ja pituusluokkakokohtaisina. (Varis 2017, 51–52; Metsän henki 2019, 18–19.)

Työmittaus, jolla määritellään puutavaran laatu ja määrä hakkuualueilla, tehdään pääsääntöisesti harvesterin hakkuupään mittalaitteilla. Läpimitan mittaus tapahtuu jatkuvasti tukkia käsitellessä, karsiessa ja katkottaessa. Mittaus tapahtuu hakkuupään karsintaterien tai syöttörullien avulla (kuva 1), jotka myötäilevät kaadetun tukin runkoa. Karsintaterät tai syöttörullat hakkuupään mallista riippuen on kytketty läpimitta-anturiin, jotka muodostavat keskenään kolmion. Kolmiomittauksella tukista saadaan ristimitta, joka laskee läpimitan. Mittaustulos kertoo tukin läpimitan kuoren päältä ja mittatarkkuus on ± 1 millimetriä. (Puuhuolto 2018b.) Harvesterin hakkuupäässä on pituusmittapyörä, joka pyörii mitattavaa tukin runkoa pitkin (Seppänen 2017). Mittapyörä mittaa tukin pituutta ja laskee jatkuvasti tukin tilavuutta pituus- ja läpimitan avulla (Puuhuolto 2018b).



Kuva 1. Harvesterin kouran mittaustekniikka (Puuhuolto 2018b)

Harvesteri arpoo työviikon aikana muutamia kontrollitukkeja, jotka koneen kuljettaja mittaa tukkisaksilla. Saksimittaustuloksia verrataan koneen tuloksiin, joiden perusteella tehdään tarvittaessa mittalaitteiden kalibrointi. Kalibrointi tapahtuu laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti, mittaamalla kontrollitukki uudelleen. Hakkuukonemittaus saa poiketa ± 4 prosenttia tarkastusmittauksesta. Tarkkuusvaatimus määritellään mittauslaissa. Lisäksi jokaiselle työkonelle on puolen vuoden välein tai jos joku mittausosapuolista sitä vaatii, suoritettava ulkopuolisen tarkastusmittaus. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018, 3–4.)

Tukkien määrätiedot siirtyvät sahojen varastojärjestelmiin metsäkuljetuksien tuotantoraporteista automaattisesti. Lisäksi määrien mittaamiseen ja varmistamiseen käytetään tukkien kuljetuskaluston kuormainvaakaa, jonka vaakatulokset voidaan muuntaa tuoretiheyden avulla tilavuudeksi. (Varis 2017, 55.)

3 Sahatavaran valmistuksen prosessikuvaus ja laitteet

3.1 Tukkilajittelu

Ennen kuorman saapumista sahalle, tukkiautoilija tekee kuormasta nippukaavion esimerkiksi kuormainvaa'an avulla. Nippukaavioon merkitään eri toimituserien sijainnit tukkiautossa sekä toimituserien mitatut kilot. Nippukaavio lähetetään usein tukin lajitteluun etukäteen sähköisenä. (Puunhuolto 2018f.) Kuvassa 2 on tukin vastaanottojärjestelmän nippukaavio tukkikuormasta.

The screenshot shows a software interface for logging a truck load. The window title is "Vatomittaus [KEHITYS] - [OUT-0 Automittaus]". The interface includes a menu bar with "Tiedosto", "Muokkaa", "Asetukset", "Ikkuna", and "Ohje". Below the menu are several input fields and sections:

- Identification:** Bek. tunnus: OUT-0, Yrittäjän nimi: ROy, Käyttök: [empty], Mittapaikka: KAIUKAS, Mittaaja: K300791, DMR: [empty].
- Location:** Alkuperä: [empty], Alkuperä2: [empty].
- Notes:** Huomautus: [empty].
- Timing:** Tuloaika: 31.05.2016 11:37, Lähtöaika: [empty], Tapahtumapäivä: [empty].
- Weight and Volume:** Vaaka: Päivitä tyhjääpaino taarapunnituksessa, Kuormain, Yhd., Veto, Perä. Brutto: 1 x 73000, 2 x 51111. Netto: 21889. Luovutuspaikka: [empty], Rajanylitys: [empty], Rajanylityspvm: [empty].
- Other Info:** Ulkopuolinen kuormanumero: [empty], AutoGIS-kuorma: 503700323 an ROy.
- Autotiedot:** Veto: [empty], Perä: [empty], Korkeus: [empty], Pituus: [empty], Leveys: [empty], Täivävyys: [empty]. Tyhjääpaino (): 21700, 16680, 8020.

At the bottom, there is a table with columns: Kum, Ri vi, Ort, Lähtö var, Teh das, Toim, Toim. nimi, Toim. ryhmä, Kaupan nro, E L, Pti kdt, Lyh, Varas to, M L T, Moto nro, Kaato- viikko. The data row shows: 00329, 1, 5037, 431095, 8110, 5037, 5037, JYVASI 00000, 431095800, [empty], 330, Kok, 3m, 811010, [empty], 9160, 201526.

Kuva 2. Tukkien vastaanottojärjestelmän nippukaavio tukkikuormasta (Puunhuolto 2021)

Sahalle saapuvat tukkikuormat otetaan vastaan tukkilajittelussa. Tukkikuormat voidaan purkaa kuljetusvälineistä suoraan lajittelulinjaan tai puskurivarastoon varastokentälle. Varastokentälle kuormaa purettaessa kuormasta täytyy olla ennakkotieto määrästä, jotta varastojärjestelmä pysyy ajantasaisena ja mahdollisimman tarkkana. Lajittelun yhteydessä

vastaanotetusta kuormasta saadaan puutavaralain hyväksymät luovutusmittauksen tulokset. On tärkeää pitää toimituserät erillään toisistaan, jotta mittaustulokset voidaan kohdentaa oikealle erälle. Toinen tärkeä tukkilajittelun prosesseista on tukkien lajittelu ominaisuuksien ja dimensioiden mukaan. (Varis 2017, 64; Puuhuolto 2018c.)

Suomen eri laitoksilla lajittelulinjat eivät poikkea toisistaan paljoa. Suurimmat erot eri laitosten linjoissa on lajittelukapasiteetti ja lajittelulokeroiden lukumäärä. Linjojen toimintaperiaate on seuraava: tukit syötetään tukkipöydälle, josta ne siirretään erilaisten kuljettimien avulla pituussuuntaisesti lajitteluradalle, josta tukit pudotetaan optisten mittausten määräämään lokeroon. Useimmiten tukinkääntäjä sijaitsee tukkien sahaan syötön yhteydessä. (Varis 2017, 66.) Poikkeuksia on, kuten toimeksiantajan Rengon sahan lajittelulinja, jossa tukit käännetään lajittelun yhteydessä.

Tukeista irtoaa linjassa liikkuessaan kuorta ja pieniä oksia. Kuljettimien alle voidaan rakentaa erilaisia raappoja, jotka kuljettavat irronneita kuoren palasia ja oksia pois linjan alta. Etenkin kuljettimien taittopäihin kertyy helposti irronnutta kuorta ja oksia. Lisäksi nykyaikaisissa lajittelulinjoissa on paljon antureita, tunnistimia ja valosilmiä, jotka mahdollistavat linjan automaattisen toiminnan. Antureiden, tunnistimien ja valosilmien aktiivinen puhdistus pienentää lian aiheuttamia tuotannonhäiriöitä. Linjan säännöllinen puhtaanapito edistää linjan käyntivarmuutta ja tehokkuutta sekä ennaltaehkäisee mekaanisia vaurioita.

Lajitellut tukit kerätään lajittelulokeroista kuormaajilla ja siirretään tukkikentälle kyseisen tukkiluokan tukkitelaan. Tukkitelalla tarkoitetaan lajiteltujen tukkien pinoa tukkikentällä. Nykyään kuormaajat ovat usein varustettu erilaisilla GPS-karttajärjestelmillä, jotka auttavat tukkikentän tukkitelosten sijoittelussa kentällä. (Varis 2017, 66.) Ilman järjestelmää, tukkitelosten paikat siirtyisivät kentällä ja telat menisivät helpommin sekaisin.

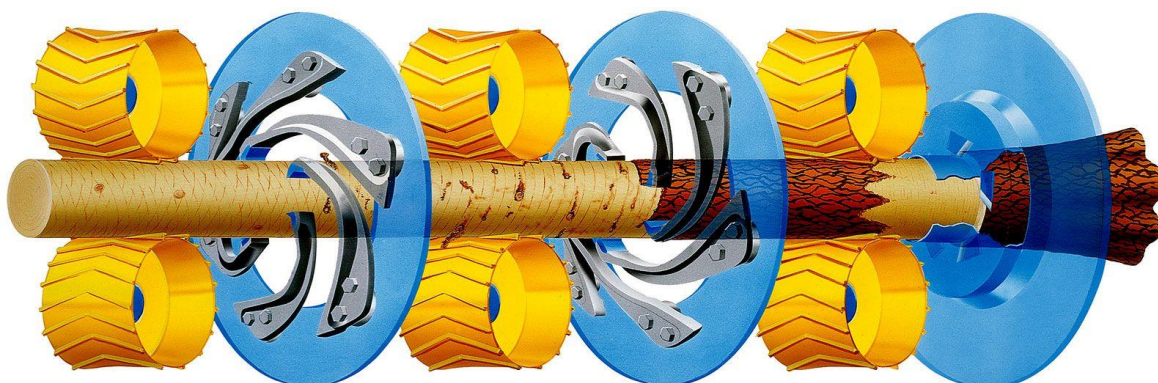
3.2 Sahaansyöttö ja kuorinta

Kuorinnan tapahtuessa tukkien lajittelun yhteydessä, tukit kuoritaan ennen mittausta. Kuorittoman tukin mittausta on tarkempaa, mikä parantaa sahaussaantoa absoluuttisen oikeiden latvaläpimittojen ansiosta, koska kuoren osuutta ei tarvitse arvioida. Varjopuolena lajittelun yhteydessä tapahtuvassa kuorinnassa on tukkien huonompi säilyvyys tukkikentällä. Kuori suojaa tukkia kuivumiselta, käsittelystä aiheutuvilta vaurioilta sekä irtomateriaalin kuten kivien joutumisesta tukkiin. Lisäksi kuoritun tukin pinta on liukas, mikä vaikeuttaa tukin käsittelyä. (Varis 2017, 76–77; Kuorinta sahoilla ja vaneritehtaissa.)

Sahaansyötössä on usein samantapainen rakenne kuin tukkilajittelulinjan alkupäässä. Tukikentältä lajitellut tukit syötetään sahaansyöttöön pyöräkuormaajalla. Sahaan syötetään saman tukkiluokan tukkeja, mitä kulloinkin sahausasetteen mukaan sahataan. Useilla sahoilla

tukinkääntäjä on sahausyötön yhteydessä. Ensiksi on varastopöytä, jota seuraa hajotuspöytä ja tukkikiramo. Tukkikiramo siirtää tukit porrasannostimelle, joka annostelee tukit yksi kerrallaan pitkittäiskuljettimelle. (Varis 2017, 90; Anttila 2021.) Jos kuorinta tapahtuu sahausyötön yhteydessä, se sijoittuu seuraavaksi linjassa.

Sahateollisuudessa yleisimmin käytetty kuorintamenetelmä on roottorikuorinta, joka on samalla hellävaraisin kuorintamenetelmä. Roottorikuorintakoneessa on 1-2 kuorintaroottoria, jotka ovat poikittain tukin kulkusuuntaan nähden. Tukkia syötetään syöttötelojen välissä kuorintaroottoreiden läpi. Roottorikuorintamenetelmä esitetään kuvassa 3. Kuorintaroottoreiden terät painetaan joko hydraulisesti tai sähköisesti tukin pintaa vasten. Roottori ja terät pyörivät tukin pintaa myöden kaapien ja kuorien tukista kuoren. Kuori putoaa kuorimakoneen alle kuorta kuljettavalle kuljettimelle. Kuorinnan tapahtuessa sahausyötön yhteydessä, tukkien kuorinta voidaan optimoida mahdollisimman tehokkaaksi ja nopeaksi. Tämä on mahdollista, koska sahaan syötetään usein saman tukkiluokan lajiteltuja tukkeja tiettyyn sahausasetteeseen. (Varis 2017, 76–77; Kuorinta sahoilla ja vaneritehtaissa.)



Kuva 3. Tukin kuorinta roottoritekniikalla (Tyvisievennys)

Tukkien kuorinta vaikuttaa niin sahatavaran kuin hakkeen laatuun. Sahausprosessissa syntyneessä hakkeessa sallitaan enintään 1,0% kuoripitoisuus. Pitoisuuden ylittyessä, haketta ostavat tehtaot maksavat hakkeesta alennettua hintaa. (Varis 2017, 74.) Myöskään valmiissa sahatavaraissa ei sallita kuorta. (Brundin, Eriksson, Fröbel, Ivarsson, Joki, Knuutila & Lehmonen 2020, 59.) Jos sahatavaraan jää kuorta, sen laatu alenee merkittävästi. Lisäksi kuorinta vähentää terähuollon kuluja, sillä kuori sisältää usein epäpuhtauksia (Varis 2017, 77; Kuorinta sahoilla ja vaneritehtaissa).

3.3 Tukin mittaus ja pyörytys

Kuorinnan jälkeen kuoritut tukit usein välivarastoidaan varastopöydälle, jonka tarkoituksena on tasata mahdollisten prosessihäiriöiden aiheuttamia pysähdyksiä. Välivaraston yhteydessä on raakkilokero, johon voidaan ohjata kuorinnan jälkeen ali- tai ylimittaisiksi mitatut tukit. Mittaus tapahtuu usein valoverhon avulla, joka mittaa jokaisen tukin latvaläpimitan yksitellen. Lisäksi ennen raakkilokeroa voi olla metallinilmaisoin, joka raakkaa metallia sisältävät tukit (Varis 2017, 90–91; Anttila 2021.)

Välivarastokuljettimilta tukki annostellaan uudestaan pitkittäiskuljettimelle, joka syöttää tukit sahauslinjalle. Annostin annostaa tukit halutulla tukkivälillä linjaan. Lisäksi syöttökuljettimia on usein monta peräkkäin, joiden nopeutta säätämällä voidaan optimoida tukkiväliä linjassa.

Seuraavaksi linjassa on tukkimittari, jonka mittaustulos määrittää tukille optimaalisimman sahausasennon. 3D-mittaus määrittää pyörytyksen suuruuden geometrisen muodon perusteella. (Varis 2017, 168.) 3D-mittarit toimivat kameroiden ja lasereiden avulla. Mittari mittaa tukkia yhden senttimetrin välein ja laskee tulosten perusteella tukin 3D-mallin. (Limab Oy 2016.) Nykyaikaisten tukkimittareiden kamerat kuvaavat satoja kuvia sekunnissa (Varis 2017, 168).

Tukinpyörittäjä pyörittää tukin optimaalisimpaan asentoon tukkimittarin antamien tietojen perusteella ennen ensimmäistä sahausvaihetta (Varis 2017, 91). Tukin optimaalisin asento pyörytyksen jälkeen määräytyy pääsääntöisesti lenkouden, soikeuden ja tilavuuden perusteella. Automaattista tukinpyöritystä ohjataan esimerkiksi Lisker Oy:n kehittämän Profi-TC -tukin pyörytyksen hallinnan avulla. Profi-TC:n mittari on sijoitettu yleensä tukin pyörytyksen yhteyteen. Mittari mittaa tukin tekstuuria reaaliajassa noin 180 kertaa sekunnissa. Mittaustuloksien avulla mittari antaa tukinpyörittäjälle reaaliaikaista tietoa pyörytyksen vaiheesta ja onnistumisesta. Pyörytyksen onnistumista verrataan tukkimittarin antamiin tuloksiin, joiden perusteella pyörytys toteutetaan. Systemaattista pyörytysvajetta, joka syntyy esimerkiksi laitteiden mekaanisesta kulumisesta, voidaan kompensoida automaattisesti Profi-TC pyörytyksen hallinnan avulla. (Varis 2017, 168–169.)

3.4 Sahaus

Usein ensimmäisenä sahauskoneena sahalinjassa on pelkkahakkuri. Pelkkahakkurilla työstetään tukin kahta vastakkaista sivua tai pelkan kahta vastakkaista sivua. Pelkkahakkuri työstöstä syntyy haketta, joka pyritään saamaan mahdollisimman hyvälaatuisiksi sellutehtaiden raaka-aineeksi. Pelkkahakkurin työstämiä kahta vastakkaista pintaa käytetään linjan

seuraavissa vaiheissa ohjauspintoina. Tämän takia on tärkeää, että pelkkahakkurin työstöjälki on tasalaatuista, jotta tukkien sahaus olisi optimaalista ja mittatarkkaa. Pelkkahakkurin teräpäitä on monia eri malleja: kartio, porrasmainen kartio, spiraalikartio tai edellä mainittujen yhdistelmä. Pelkkahakkurin teräpään otsapinnassa on usein pyöröterä, joka tekee tukkiin tai pelkkaan tasaisen pinnan. Kyseinen pyöröterä voi olla edeltä leikkaava tai jälkileikkaava. Ero pyöröterän mallissa on, sahaako pelkkahakkurin pyöröterä tasaisen pinnan ennen vai jälkeen haketusterien. (Varis 2017, 93–94.)

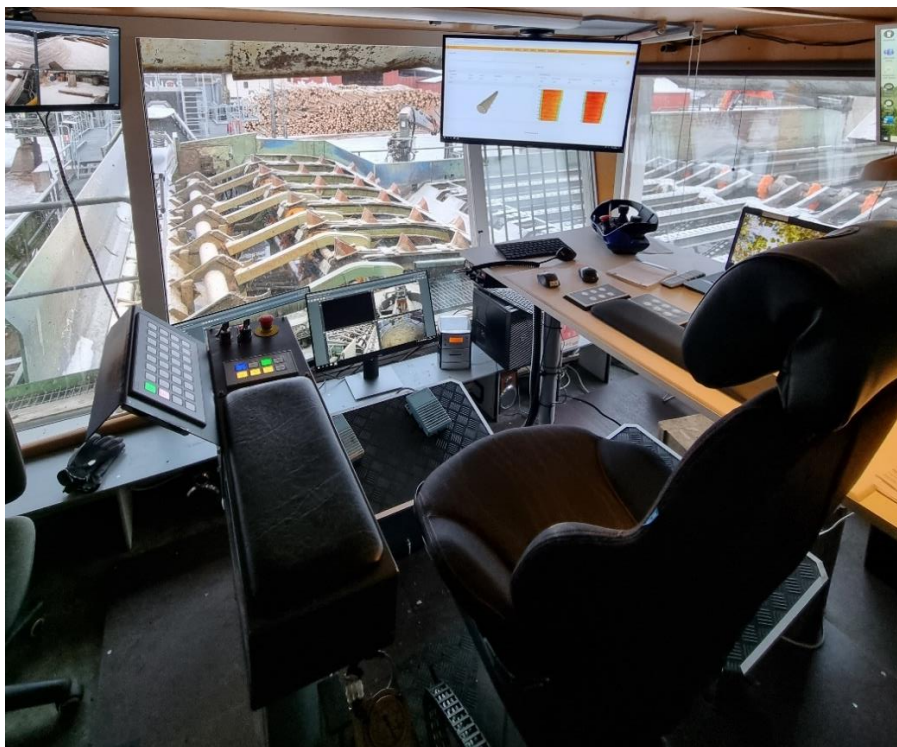
Erilaisia sahalinjoja ovat pyörösaha-, veistosaha-, vannesaha- ja yhdistelmälinjat. Sahakoneet ovat kiinteä- tai muuttuva-asetteisia. Kiinteäasetteiset sahat ovat tehokkaita ja niitä käytetään ennalta suunniteltujen tukkien sahaamiseen tietyllä asetteella. Muuttuva-asetteisessä sahauksessa asetetta voidaan muuttaa tukki- tai pelkkakohtaisesti suurimman mahdollisen saannon varmistamiseksi. (Varis 2017, 89.) Muuttuvan asetteen mekaaninen ohjaus tapahtuu joko hydraulili- tai sähköservoilla, joita puolestaan ohjaa asetetukijärjestelmät. Järjestelmien avulla voidaan tehdä terien asemien korjaukset ja säädöt oikeiden tuoreidimensioiden saavuttamiseksi. (Varis 2017, 95–96.)

4 Rengon sahan tukkien lajittelu

4.1 Lajittelulinja

Rengossa lajitellaan tukit kuorellisina. Saapuvasta kuormasta tai varastokentältä otetut tukit syötetään poikittain lajittelulinjalle pyöräkuormaajilla tai kurottajilla. Ensimmäisenä linjassa on varastopöytä, johon tukit lasketaan. Tukkipinon ollessa varastopöydällä, sitä kastellaan kasteluvedellä. Kastelu helpottaa tukkien liikkumista linjassa, sillä kuivat tukit tarrautuvat helposti toisiinsa kiinni. Lisäksi kastelu pienentää kuljettimien kitkaa ja vähentää linjan sekä ketjujen kulumista. Varastopöydältä tukkipino liikutetaan hajotuspöydälle, jossa tukkipino leviää tasaiseksi tukkimatoksi. Tasainen tukkien matto liikutetaan tukkikiramoon, josta tukit nousevat yksitellen, yksi tukki per kolaväli, annostimelle. Annostin on aikaohjattu ja se annostelee 3 sekunnin välein tukin ensimmäiselle tukkilajittelimelle.

Tukkilajittelulinjan valvomo on sijoitettu niin, että tukkeja voi tarkastella visuaalisesti tukin ollessa kiramossa ja annostimella. Yksittäisen tukin ollessa annostimella, tukkilajittelun operaattori voi laaduttaa tukin ohjauspaneelin laadutus-painikkeilla. Jos operaattori havaitsee tukissa esimerkiksi korjuuvaurioita tai lahoa, voidaan tukki laaduttaa jo ennen mittausta vaajaalaatuseksi tai raakata kokonaan hylkyyn meneväksi. Rengon lajittelulinjan valvomo esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Tukkilajittelulinjan valvomo (Kuva: Aleksi Kätkyntiemi)

Tukkikuljettimella tukit liikkuvat pitkittäin. Seuraavaksi linjassa on metallinilmaisin, joka havaitsee sähkömagneettisen toimintaperiaatteen avulla tukissa olevat metallikappaleet. Metallinilmaisimen jälkeen linjassa on tukkimittari, joka mittaa tukista 3D-kuvaa lasereiden avulla sekä läpivalaisukuvaa röntgenin avulla. Mittaustietojen perusteella tukit lajitellaan omiin tukkiluokkiinsa dimensioiden mukaan.

Tukkimittari tunnistaa, miten päin tukki kuljettimella kulkee. Tieto on oleellinen, sillä linjassa seuraavana oleva revolverikäöntäjä kääntää tukin lajittelukuljettimelle siten, että se pudotetaan lokeroon oikein päin. Toiselle puolelle lajittelulinjaa tukit pudotetaan lokeroihin latva edellä ja vastakkaiselle puolelle lokeroihin tyvi edellä. Kun tukit ovat lajittelussa käännetty, tukkeja sahaan syötettäessä tukit menevät oikein päin latva edellä. Rengon sahan lajittelulinjassa on 44 lokeroa. Kuvassa 5 on Rengon lajittelulinjan kääntäjä ja lajittelulokerot.



Kuva 5. Tukin revolverikäöntäjä ja lajittelulokerot (Kuva: Aleksi Kätkytniemi)

4.2 Latvaläpimitta lajittelutapa

Rengossa tukit lajitellaan luokkiin latvaläpimitan mukaan. Luokat ja niiden minimi- ja maksimirajat ovat optimoitu asetteisiin sopiviksi. Esimerkiksi tukkiluokan D227 minimiraja on 223 millimetriä ja maksimiraja 234 millimetriä. Tukkiluokkien rajat ovat määritetty asetteiden mukaan, tarkoituksena saada paras arvosaanto luokan tukeista tietyillä asetteilla.

Sahausasetteita puolestaan optimoidaan sahaussimulaattoreiden avulla. Tietyn kokoisesta tukista voidaan sahata lukuisia eri asetteita. Simulaattorin (kuva 6) avulla voidaan laskea eri asetteiden kannattavuutta toisiinsa nähden. Asetesimuloinnissa otetaan huomioon sydäntavaroiden, sivulautojen tuoredimensiot, sivulautojen sallitut vajasärmämäärät, todennäköinen laatujauma, keskimääräinen kuoriprosentti ja keskimääräinen tukin

kartiokkuus. Tukkiluokkien simuloinnin tuloksena syntyy optimaalisimmat asetheet, joiden mukaan optimoidaan tukkiluokkien latvaläpimittarajat. (Varis 2017, 62.)

The screenshot shows the TimberVision software interface. The main window displays a circular log cross-section with a red rectangular layout of timber beams. The interface is divided into several panels:

- Left Panel:** Contains input fields for log dimensions (e.g., Puulaji / Tukkiluokki, Latvaläpimitta (mm), Pituus (mm), Kartiokkuus (mm/m), Kuori (%)) and a table for timber grades (Yleinen, Sisemmät, Yleinen, Sisemmät).
- Top Panel:** Shows simulation parameters like Asetenumero (1) and Tukkiluokka (285 - 299 mm).
- Right Panel:** Contains machine settings (Sahausrat, Kone 1, Kone 2) and simulation results (Sallittu paksuudessa %, Sallittu leveydessä mm, etc.).
- Bottom Panel:** Displays simulation results like Käyttösuhde (2.01) and Arvo (43.93€).

Kuva 6. Sahaussimulaattorin käyttöliittymä (TimberVision Oy 2017)

Sahateollisuudessa tarkastellaan saantoa tilavuuden tai arvon näkökulmasta. Tilavuus-saanto lasketaan valmiiden sahatavarakappaleiden tilavuuksien suhde alkuperäisen tukin tilavuuteen. Arvosaantoa laskettaessa tulee eri sahatavaratuotteet arvottaa eri arvoiksi markkinatilanteen tai tilauskannan mukaan. Tämän jälkeen voidaan optimoida sahaus kannattavien tuotteiden mukaan. Arvosaantoperiaatteeseen voidaan ottaa huomioon hakkeen ja purun osuus ja niiden arvo sahauksesta. (Varis 2017, 100.)

Saantoon vaikuttavia tekijöitä on paljon. Yksittäinen tekijä ei välttämättä vaikuta saantoon oleellisesti, mutta moni tekijä yhdessä heikentävät saantoa merkittävästi. Saantoon vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi jokaisen tukin yksilöllinen geometria sekä tukin ja pelkan mitauksien tarkkuus. Toisaalta yksikin tekijä voi vaikuttaa saantoon merkittävästi pitkällä ajanjaksolla mitattuna. Esimerkiksi tukin mittauksen onnistuminen tukkilajittelussa voi vaikuttaa suuresti pitkällä aikavälillä muun muassa käyttösuhteeseen, joka puolestaan vaikuttaa yrityksen tulokseen. Kun kuorellista tukkia mitataan, mittalaitteilla pyritään löytämään tukin kuoreton profiili ja latvaläpimitta. Jos latvaläpimitan mittauksessa tapahtuu jatkuva yhden millimetrin virhemittaus, voi raaka-ainemenetyksiä aiheutua 300 000 euroa vuodessa, kun sahan tukin käyttö on luokkaa 650 000 kuutiometriä tukkeja vuodessa. (Varis 2017, 100.)

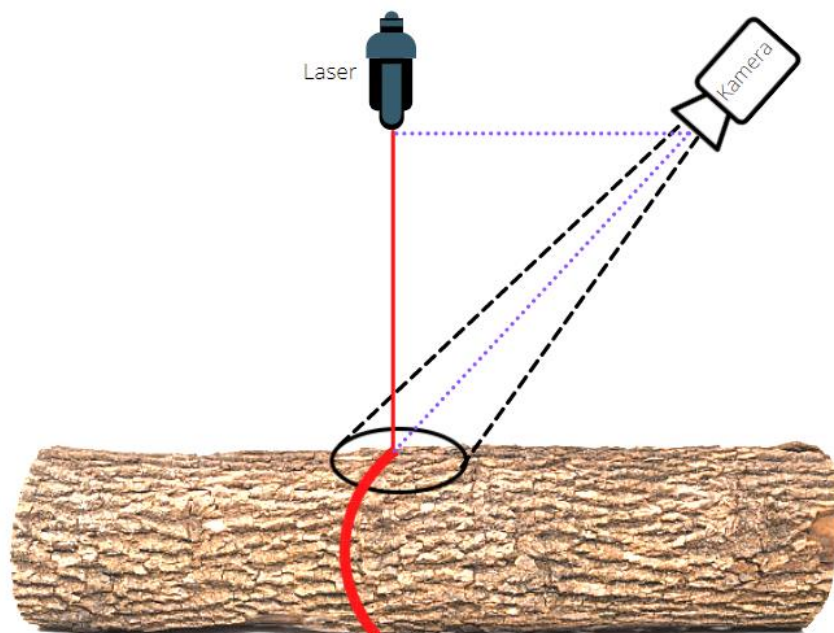
5 Tukkien mittaus ja lajittelu

5.1 Mittaus

3D-mittaus

Tukkimittarin 3D-mittaus perustuu kamera- ja lasertekniikkaan. Puun etenemistä mittarilla seurataan pulssianturin avulla. (Varis 2017, 69) Nykypäivän kamerat rekisteröivät jopa yli tuhat mittapistettä sekunnissa, joiden avulla tukista luodaan 3D-malli (Microtec 2019; RemaSawco 2020).

3D-mittauksessa lasersäteet heijastetaan tukin pinnalle. Säteet muodostavat yhtenäisen laserlinjan kohtisuoraan tukin pinnalle. Kamerat kuvaavat laserlinjaa viistosti tukin pintaa nähden. Kameran kuvien avulla voidaan laskea lasersäteen etäisyys laserosoittimesta laserkolmiointiperiaatteen avulla. Kolmiointiperiaate perustuu lasersäteen ja kameran kuvan muodostamaan kolmioon, jonka avulla voidaan laskea lasersäteen pituus tukin pintaan (Kuva 7). Kameroiden tiheästi mitatut kuvat muodostavat lopulta tuhansia mittauspisteitä, joiden avulla 3D-malli luodaan. Usein mittareissa on 3-4 laser- ja kamerayksikköä, jolloin koko tukin pinta-ala tulee katetuksi. (Skog 2009, 1–2.)



Kuva 7. 3D-mittaustekniikka (mukailtu Skog 2009, 2)

Mittapisteistä muodostettu tukin 3D-malli esitetään kuvassa 8. 3D-mittaustekniikalla on mahdollista mitata kuorellisen tukin kuoreton profiili, jos mitattavassa tukissa on kuorettomia

alueita. Lasersäteen osuessa kuorettoman tukin pintaan, säde leviää. Tämä johtuu siitä, että kuorettoman puun pinta on kirkkaampaa kuin kuorellisen puun pinta. Mittauskohdista, joissa säde leviää, laskenta osaa päätellä pinnan olevan kuoretonta. Mittaustulos ei kuitenkaan ole tarkka. Tarkan kuorettoman profiilin mittaamiseksi tarvitaan tukin sisäistä mitausta, koska ulkomuodoiltaan kahden identtisen tukin kuorettomat profiilit eroavat toisistaan. (Skog 2009, 3.)



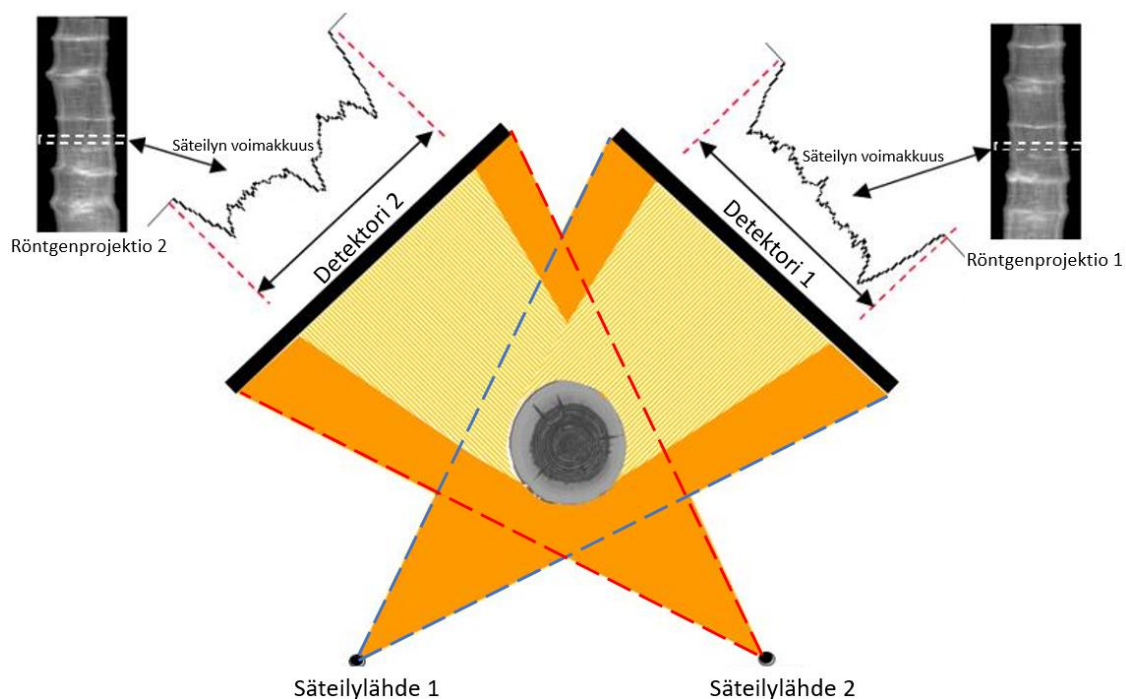
Kuva 8. Tukin 3D-malli (kuvakaappaus tukkimittarin käyttöliittymältä)

Röntgenmittaus

Tukkiröntgen on yleistynyt mittalaite sahateollisuudessa. Röntgenin etuna on, että tukin sisäistä laatua voidaan tarkastella ennen sahausta. (Puuhuolto 2018d). Lajittelulinjojen kapasiteettien kasvaessa myös röntgenlaitteiden tulee olla nopeita. Tästä syystä yleisin röntgentekniikka sahateollisuudessa on kahden suunnan röntgenmittaus, mutta mittaussuuntia voi olla 1-4. (Skog 2009, 6; Heikkilä, Holmila, Räsänen, Usenius & Usenius 2017, 19–20.)

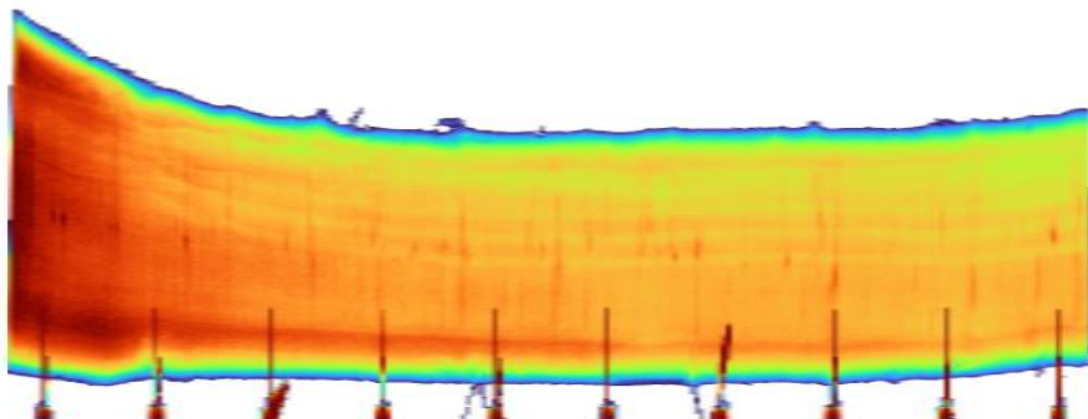
Säteilylähteet lähettävät röntgensäteitä kohtisuoraan tukkia kohden. Säteilylähteitä vastaanpäättä on detektorit, eli vastaanottimet, jotka mittaavat säteilyn voimakkuutta. Mitä

pienempää säteily on, sitä suurempi on tukan tiheys. (Skog 2009, 6; Heikkilä ym. 2017, 19–20.) Kuvassa 9 on esitetty röntgenmittaustekniikan periaate.



Kuva 9. Röntgenmittaustekniikan periaate (muokattu Grundberg & Grönlund 1997, Skog 2009, 7 mukaan)

Säteilyn voimakkuuden vaihtelusta syntyy röntgenprojektiota, joissa jokainen vastaanotettu säteilyn voimakkuusarvo luo yhden pikselin. Röntgenprojektiossa pikseleiden vaaleusaste ilmaisee tukan tiheysvaihtelua. Mitä vaaleampi pikseli, sitä tiheämpi tukan mittaushohta on. Lukuisista röntgenprojektioista syntyy kokonainen mitatun tukan röntgenmalli. (Skog 2009, 6; Heikkilä ym. 2017, 19–20.) Kuvassa 10 on tukkimittarin luoma yhtenäinen röntgenkuva tukista. Röntgenkuva muodostuu supistettuna todelliseen mittasuhteeseen nähden.



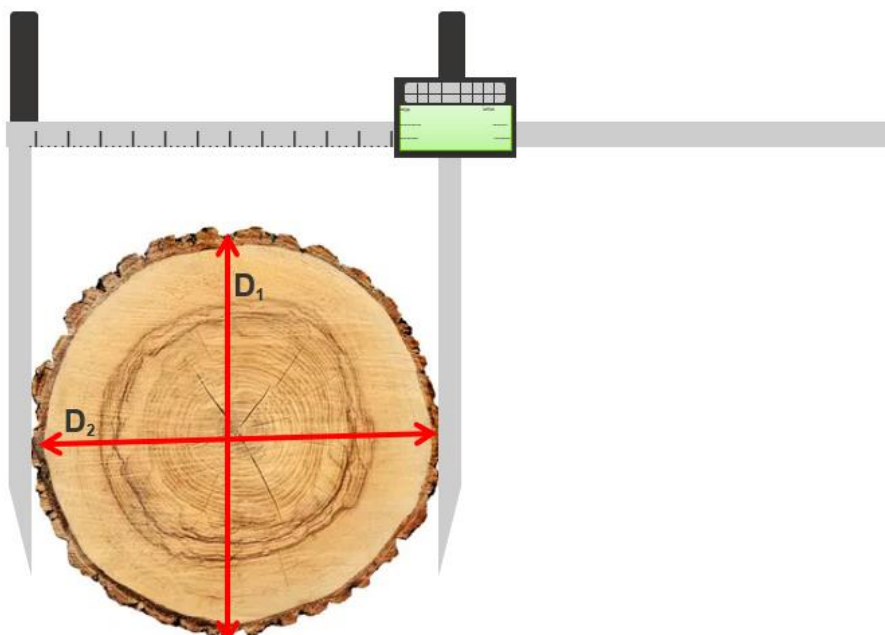
Kuva 10. Tukkimittarin röntgenkuva tukista (kuvakaappaus tukkimittarin käyttöliittymältä)

Käsinmittaus

Tukkien tarkastus- ja kontrollimittauksia tehdään metsässä ja sahoilla laadun ja tarkkuuden seurannan yhteydessä. Tarkastusmittaukset tehdään mittasaksilla (kuva 11), joilla mitataan tukkien latvaläpimitta ja rungon läpimitat metrin välein millimetrin tarkkuudella. Läpimitat mitataan ristiin mittaamalla kuvan 12 mukaisesti. (Puuhuolto 2018c; Puuhuolto 2018g) Tukin pituus ilmoitetaan mittasaksien mittaustietoihin, joiden perusteella mittasakset ilmoittavat vuorossa olevan mittauskohdan (Anttila 2021).



Kuva 11. Digitaalinen Masser-mittasakset (Kuva: Aleksi Kätkyntiemi)



Kuva 12. Latvaläpimitan mittaus mittasaksilla (Kuva: Aleksi Kätkytniemi)

Kontrollitukkien mittaus tehdään samalla mittausmenetelmällä kuin harvestereiden tarkastusmittaukset metsässä (Anttila 2021). Tilavuuden laskemiseksi mitataan tukin läpimitat seuraavasti: ensimmäinen läpimitta 0,5 metrin kohdalta, toinen 1,5 metrin kohdalta ja seuraavat mittauskohdat aina metrin välein. Viimeinen mittauskohta on jäljelle jäävän osan puolivälissä. Esimerkiksi tukin ollessa 486 senttimetriä pitkä, viimeinen mittauskohta on toiseksi viimeisen mittauskohdan (450 cm) ja tukin pituuden (486 cm) puolivälissä (418 cm). (Puuhuolto 2018g; Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018.) Digitaaliset mittasakset laskevat tukin tilavuuden läpimittojen perusteella, mutta tilavuuden voi laskea lieriön kaavalla kuutioitujen mittävälien summana (Puuhuolto 2018g; Anttila 2021.)

5.2 Mittauslaadun varmistaminen

Mittauslaitteiden testaukset, huolto ja omavalvonta ovat osa tuotantolaitosten sisäistä laadunvalvontaa. Mittauslaitteiden tarkka toiminta takaa hyvän tuotteiden laadun. Mittauslaitteiden omavalvonta ja huollot tehdään säännöllisesti sekä suunnitellusti sahalaitoksen laatu- ja huoltojärjestelmän mukaan. Reklamaation koskiessa tuotteiden laatua, voidaan tallennetuista mittaus- ja huoltoreporteista osoittaa, että laadun varmistustoimintoja mittauslaitteille on tehty. (Varis 2017, 202.)

Tukkilajittelun tukkimittarin mittauslaadun omavalvontaan kuuluvat kontrollitukit ja erilaiset mittarin kalibrointitestit. Tukkimittari arpoa sattumanvaraisesti kontrollitukit, jotka merkataan ennen mittarin mittausta. Mittauksen jälkeen kontrollitukit lajitellaan omaan lokeroon ja

siirretään sivuun. Kontrollitukeista mitataan kuorellinen tilavuus ja pituus mittasaksilla ja mitaustuloksia verrataan tukkimittarin tuloksiin. Lisäksi tukin visuaalisella tarkastelulla arvioidaan tai mitataan, täyttyvätkö puukaupassa sovitut mitta- ja laatuvaatimukset. (Varis 2017, 202; Puuhuolto 2018c.)

Tukkimittarille suoritetaan päivittäin kalibrointisyylinteritesti. Testissä mittarin sisään ajetaan esimerkiksi muovinen testisyylinteri, jonka mitat ja tilavuus ovat selvillä. Mittarin mitaustuloksia vertaillaan testisyylinterin oikeisiin mittoihin. Jos testissä ilmenee systemaattisia virheitä, tulee mittari kalibroida. (Varis 2017, 202; Anttila 2021.) Kuvassa 13 on kalibrointisyylinteri, joka on asetettu kuljettimelle testiä varten.



Kuva 13. Kalibrointisyylinteri kuljettimella valmiina testiä varten (Kuva: Aleksi Kätkytniemi)

Sahalinjan 3D-mittarin mitaustuloksia voidaan hyödyntää tukkilajittelun mittareiden seurannassa ja kalibroinnissa, sillä sahan mittari mittaa tukin kuorettoman 3D-profiilin. Vertailun perusteella selviää, mitaako tukkiröntgen tukin kuoren osuuden oikein. Jos todellinen kuoreton tukin latvaläpimitta poikkeaa paljon tukkilajittelussa mitatusta latvaläpimitasta, tukki lajitellaan väärään tukkiluokkaan. (Anttila 2021). Jos tukkiröntgen mittaa kuoren osuuden liian isoksi tai pieneksi, voidaan röntgenin mittausta korjata erilaisilla kuorikertoimilla.

Kuorikertoimien määrittämisessä voidaan käyttää myös alueellisiin tilastoihin perustuvia kuorilisäysprosentteja (Varis 2017, 74).

Vertailua mittareiden välillä voidaan tehdä yksittäisistä sahauseristä tai pidemmällä aikajaksolla. Sahauseräkohtaisessa vertailussa voidaan tarkastella sahattavien tukkien latvaläpimittajakaumaa. Optimaalisin jakauma sisältäisi paljon tukkeja luokkarajojen keskeltä ja vähän tukkeja läheltä rajoja, normaalijakaumaa mukaillen. Pitkän aikavälin vertailussa mitaustiedot tukkiluokkien luokkaan osumisesta tulevat tukkikentän kiertonopeudesta riippuen hieman viiveellä. (Anttila 2021.)

Lajittelussa seurataan sahattujen sydäntavaran ja sivulautojen vajaasärmäosuutta. Vajaasärmäosuus sahatavarasta indikoi, onko tukkiluokkien tukit latvaläpimitaltaan yli- tai alimittaisia. Jos esimerkiksi vajaasärmäisyys asetteella kasvaa, tukkiluokan tukit ovat mitattu latvaläpimitaltaan alimittaisiksi. (Anttila 2021.)

5.3 Lajittelu

Rengossa on käytössä kiinteäasetteinen sahaus, joten tukkiluokkien rajausta ja optimointi eri aseteille on tärkeää hyvän saannon varmistamiseksi. Kun tukkiluokkien optimointi on tehty ja asetet ovat simuloitu tehokkaiksi, hyvät ja tarkat mittaustulokset takaavat onnistuneen sahausprosessin. Opinnäytetyö keskittyy kuorellisten tukkien mittaustarkkuuteen tukkilajittelussa. Tukin kuorettoman profiilin mittaustulosten oikeellisuus ja tarkkuus varmistaa tehokkaan sahausprosessin sekä pienentää hukkan määrää.

Rengossa on 26 eri latvaläpimitan mukaista tukkiluokkaa, joista kuudessa luokassa on pituuden määrämittavaatimukset. Lisäksi lajittelulinjassa on omat lokerot ylisuurille tukeille, raakituokeille sekä kontrollituokeille.

Lajitteluun vaikuttavat mittaustiedot

Tukkeja arvioidaan visuaalisesti ulkopuolelta, mitataan röntgenlaitteilla sisäpuolelta sekä mitataan geometria optisesti. Tukkien mittausvaiheet ja laadunvalvonta vaikuttavat tukkien lajitteluun sekä tukkiluokan määrittämiseen. Onnistunut lajittelu takaa tuotantotehokkaan sahausprosessin. Mitä aikaisemmin tukeista tehdään valintoja sahausprosessiin liittyen, sitä vähemmän on tuotejakaumaa ja sitä parempi lopputuotteen laatu on. (Varis 2017, 68.)

Visuaalisen lajittelun tarkoituksena on hylätä vialliset tukit silmämääräisesti. Lajittelulinjasta, sen tekniikasta ja laitteista riippuen, moderneimmat tukkien mittauslaitteet havaitsevat suurimman osan tukin visuaalisesti havaittavista vioista, jolloin operaattoreille jää enemmän aikaa seurata linjan toimintaa. (Varis 2017, 68.) Hylätyt tukit raakataan, eli lajitellaan hylätyjen tukkien lokeroon.

Tukkien geometria mitataan nykyään 3D-tekniikan avulla, jonka toiminta perustuu kameroihin ja lasereihin. 3D-mittari mittaa tukin ulkoista geometriaa. Tärkeimpiä mittasuureita ovat latvahalkaisija (latvaläpimitta), pituus sekä tilavuus. (Varis 2017, 68; Puuhuolto 2018c.) Latvaläpimitta on usein määräävin tekijä tukkien lajittelussa. Joillekin tukkiluokille on määritelty myös tukkien pituusvaatimukset, jotka pohjautuvat sahatavaroiden määrämittapituuksiin. Harvesterit katkovat metsässä tukit mahdollisuuksien mukaan määrämittäisiksi. Tämänlaisista latvaläpimitan ja pituuden mukaan lajitelluista tukkiluokista sahataan tiettyjä asetteita, joista syntyy tiettyjä määrämittäisiä lopputuotteita. Kun tukkien pituudet otetaan huomioon jo metsässä ja tukkien lajittelussa, sahatavaroiden tuore- ja kuivalajittelussa katkonnan tarve ja hukka vähenee. Lisäksi 3D-mittari luo jokaisesta tukista kolmiulotteisen mallin, jonka perusteella mittari pystyy havaitsemaan erilaiset muototekijät, kuten tukin korjuuvauriot, lenkouden tai monivääryyden (Varis 2017, 68).

Röntgenmittauksen avulla saadaan mitattua tukin sisälaatua ja mittausta käytetään geometrisen mittauksen tukena. Sisälaadusta saadaan selville vuosiluston leveys (paksuuskasvu), sydänpuun osuus, oksaisuus, tiheys ja tukin kuoreton halkaisijaprofiili. Mittaustietoja oksaisuudesta ja sydänpuun osuudesta voidaan käyttää arvioinnissa lopputuotteiden laatujakaumista. Lisäksi röntgen havaitsee tukin sisällä sijaitsevat vierasesineet, esimerkiksi naulat ja kivet. Vierasesineitä sisältävät tukit vahingoittavat teriä eri sahausprosesissa, joten tukit pitää saada lajiteltua erikseen lajittelussa. Tärkein lajitteluun vaikuttava mittaustieto röntgeniltä on kuoreton halkaisijaprofiili. Halkaisijaprofiilia ja geometrisiä mittaustietoja yhdistelemällä saadaan laskettua tukin tarkka latvaläpimitta. (Varis 2017, 70; Puuhuolto 2018d.)

Tukin laatutekijät ja virheet

Tukkilajittelun operaattori voi laaduttaa tukkeja visuaalisesti havaittujen havaintojen perusteella. Yksittäiselle tukille annettu visuaalisen lajittelun mittaustieto yhdistetään geometriseen mittaustietoon, joiden perusteella lopullinen lajittelupäätös tehdään. Visuaalisia vikoja tai laatutekijöitä ovat oksaisuus, laho, sinistymät ja koro. Viat, joita optiset mittaustilat eivät vielä havaitse, ovat sinistymä ja kovalaho. (Varis 2017, 68.)

Erilaiset sienet aiheuttavat lahoa niin kasvaville puille kuin kaadetuille tukeille. Puuraaka-aineen ominaisuuksiin vähiten vaikuttavimmat ovat homesienet ja välivikaa aiheuttavat sienet. Homesienet leviävät usein ainoastaan tukin ulkopinnoilla, eikä siten heikennä puun solurakennetta. Värivikaa aiheuttavat sienet heikentävät lopputuotteiden visuaalista laatua, mikä alentaa lopputuotteiden arvoa. Puuraaka-ainetta heikentäviä sieniä ovat erilaiset hajottajasienet, jotka hajottavat puuainetta ja -rakennetta. Tämä vaikeuttaa koko sahatavaran

valmistusprosessia, sillä rakenteeltaan heikentyneet sahatavarakappaleet voivat esimerkiksi katketessaan tuotantolinjassa aiheuttaa tuotannon pysähdyksiä. (Puuhuolto 2018e.)

Lisäksi puun rakennetta heikentävät erilaiset tuholaishyönteiset, jotka käyttävät puuta ravinnokseen. Yleinen tuholainen nuorille havupuille ja versoille on tukkimiehentäi. Kuusitukkeja uhkaavat kaarnakuoriaiset kuten kirjanpainaja ja kuusentähtikirjaaja. Tuholaisvauriot tukeissa ovat kuoren alla tai puuaineksessa. (Metsäkeskus 2021; Hyppölä, Kärkkäinen, Lukkari, Lipponen, Mäkelä, Paananen, Rumpunen & Thesslund 2004.)

Tukeissa esiintyy myös erilaisia muoto- ja rakennevikoja. Oksien määrä, koko ja laatu vaikuttavat tukin ja lopulta sahatavaran laatuun (Varis 2017, 38). Yleisesti suurin sallittu oksakoko terveellä oksalla on 50 millimetriä, kuivalla oksalla 40 millimetriä ja laholla oksalla 30 millimetriä (Varis 2017, 46).

Tukit eivät ole aina suorina, vaan niissä esiintyy lenkoutta, mutkaisuutta ja monivääryyttä. Lenkoudella tarkoitetaan tukin tasaista käyryyttä koko tukin matkalta. (Puuproffa.) Yleisesti tukissa saa olla lenkoutta maksimissaan 1 senttimetri metrin matkalla (Varis 2017, 46). Mutkaisuudella ja monivääryydellä tarkoitetaan tukissa olevaa mutkaa, joka kääntyy tukissa useampaan suuntaan. Yleisesti monivääryyttä ei sallita (Puuproffa.) Muotoviallisten tukkien sahaamisesta tulee saantotappioita (Varis 2017, 68). Tukien laatuvaatimukset ovat saha- ja sopimuskohtaisia, esimerkiksi Rengossa suurin sallittu tukin lenkous riippuu latvaläpimitasta (Varis 2017, 39–40; Anttila 2021).

Tukin laatuun vaikuttavat tukin pinnan korot sekä halkeamat. Koro on kasvavaan puuhun syntyneen vaurion seurauksena syntynyt aukko tai epämuodostuma puun pinnassa (Brun-din ym. 2020, 44; Varis 2017, 187.). Tukissa voi olla pinta-, sydän- tai rengashalkeamia. Halkeamia ei sallita tukeissa. (Puuproffa.)

Tukkeja käsitellään useaan kertaan ennen kuin ne päätyvät sahaukseen. Jokaisen käsittelyn yhteydessä tukki voi vaurioitua. Yleisimmät vauriot tukin käsittelyssä tapahtuu hakkuun ja metsäkuljetuksien yhteydessä. Korjuuvaurioita voi syntyä harvesterin karsimateristä ja syöttö- tai mittarullista. (Varis 2017, 54–55.) Lisäksi tukit voivat vaurioitua pyöräkuormaajien kourien käsittelyssä (Varis 2017, 77).

Tukkien mittavaatimukset sovitaan jo puukauppoja tehdessä. Tukeille määritellään maksimi- ja minimipituudet ja latvaläpimitat. (Varis 2017, 42.) Jos tukki ei täytä mittavaatimuksia, ne raakataan omaan lokeroon. Ylipitkät tukit voidaan tarvittaessa sahata käsin lyhyemmäksi ja lajitella uudelleen. Rengossa tukeille on määritetty seuraavat minimi- ja maksimirajat:

- latvaläpimitta: maksimi 416 mm, minimi 160 mm (kuoren päältä)

- pituus: maksimi 550 cm, minimi 365 cm

(Anttila 2021.)

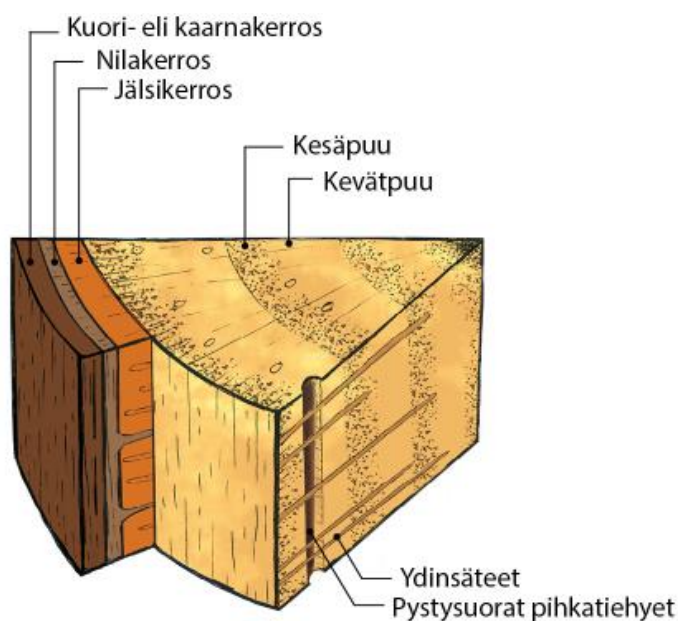
Yleisesti tukkitoimitusten tukeista noin 2,5–3,5 % ei täytä laatuvaatimuksia. Noin kaksi kolmasosaa vajaalaatuisista tukeista on mutkaisia tai lenkoja tukkeja. Jäljelle jäävistä tukeista, kolmasosa vajaalaatuisista, on ali- tai ylimittaisia, lahoja tai rautapuita. Kuitenkin noin 95% vajaalaatuisista tukeista päätyy sahaukseen. Tukit, joita ei vajaalaatuisuuden takia sahata, lähetetään kuitu- tai energiapuuksi muille laitoksille. (Anttila 2021.)

Tukin lajittelussa kustakin toimituserästä tehdään raportti mitta- ja laatuvaatimusten mukaisesti. Raporttiin raportoidaan esimerkiksi erässä olleet hylkäämisperusteiset tukit. (Varis 2017, 68). Raporttien avulla metsäkoneyrittäjille voidaan antaa laatu palautetta katkonnan onnistumisesta. Palautteen perusteella metsäkoneyrittäjä pystyy korjaamaan tai kalibroimaan harvesterin mittalaitteita laadun parantamiseksi. (Varis 2017, 53.) Toimituserän vajaalaatuisten tukkien osuuden noustessa merkittävästi, toimituserästä reklamoidaan koneyritykselle tai puuntoimittajalle (Anttila 2021).

6 Kuoren mittaaminen ja kuorikerroin

6.1 Puun kuori

Kuusen rakenne koostuu kuorikerroksesta ja puukerroksesta. Kuori jakautuu kolmeen eri osaan: kuorikerros (kaarna), nilakerros (sisäkuori) ja jälsikerros. Edellä mainitut kuoren kerrokset pyritään poistaa kuorinnassa. (Varis 2017, 73–74.) Puun rakenne on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Puun rakenne (Saikkonen, Varis, 73 mukaan)

Sahateollisuudessa ollaan kiinnostettu kuoren tilavuusosuudesta puun rungosta. Kuoren määrään ja rakenteeseen vaikuttaa moni tekijä. Määrään vaikuttavat kuusen ikä, koko, rungon muoto, kasvavan puun sijainti ja asema metsässä sekä maantieteellinen sijainti. (Varis 2017, 73.)

Kuoren osuus puun rungosta kasvaa puun kasvaessa, mutta sen suhteellinen osuus pienenee. Puun tyvässä kuori on paksumpaa kuin latvuksessa. Puun kasvunopeus vaikuttaa kuoren määrään. Nopeasti kasvavassa puussa on vähemmän kuorta kuin hitaasti kasvavassa puussa. Lisäksi puun maantieteellinen sijainti vaikuttaa merkittävästi kuoren määrään. Kuusitukkipuiden kuoripitoisuus tilavuusprosentteina Etelä-Suomessa on 10,1% kun taas Pohjois-Suomessa 13,2%. Alueellisia kuoren tilavuusprosentteja käytetään tukkien

lajittelussa kuorilisäysprosenttia määriteltäessä, jos lajittelun tukkimittarit eivät pysty mittaamaan kuoren osuutta. (Varis 2017, 73.)

Tukkimittareiden tarkkuusvaatimukset olisivat pienemmät, jos tukit kuorittaisiin ennen mitausta. Tukin kuoreton profiili pystyttäisiin mittaamaan tarkasti ilman röntgeniä. Tällöin kuitenkin tukkien säilyvyys tukkikentällä heikentyisi merkittävästi ja tukit olisivat alttiina sinistymälle, tuholaisille ja maasta tuleville epäpuhtauksille. Lisäksi tukkien käsittely vaikeutuu, kuorettomien tukkien ollessa liukkaita. (Varis 2017, 76–77.)

Baumgartner, Brüchert, Staudenmaier ja Sauter (2007, 13–16) ovat tutkineet kuusen kuoren mittausta röntgentekniikalla Itävallassa sijaitsevalla sahalla. Tutkimus toteutettiin kesäaikaan. Tutkimuksessa käytettiin kauttaaltaan kuorellisia tukkeja, joiden ei annettu kuivua vaan pyrittiin mittaamaan mahdollisimman kosteina. Toisin sanoen tutkimukselle luotiin otollisimmat mittausolosuhteet. Kuorellisen kuusitukin kuoren paksuuden mittaaminen röntgentekniikalla antaa tarkkoja mittoja. Röntgenin mittaustulokset erosivat keskimäärin 0,5 millimetriä käsin mitatuista paksuusmitoista. Tutkimuksen tuloksen mukaan röntgen on luotettava mittauslaite kuoren paksuuden määrittämisessä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu tukkeja ääriolosuhteissa, eli jäisinä talvella tai kuivina kesällä.

6.2 Manuaalinen kuorikerroin

Tukkimittarin mittaustarkkuus on parhaimmillaan loppukeväästä ja alkusyksystä. Talvella tukit ovat jäisiä ja lumisia, mikä vaikeuttaa tarkkaa mittausta. Kesällä puolestaan tukit kuivuvat ja kuori irtoaa. Tukkien kuivuminen ja kuorettomuus vaikeuttavat mittaamista, sillä mittarin on vaikea määrittää puun ja kuoren rajapintaa. (Anttila 2021.)

Ajankohtina, jolloin tukkimittarin mittauksiin syntyy virheitä, käytetään mittauksessa kuorikorjauskertoimia. Mittarin mitatessa systemaattisesti tukki esimerkiksi 2 millimetriä liian paksuksi, mittarin ohjelmaan käsin asetettavalla korjauskertoimella voidaan kompensoida virhettä. Virheen korjaaminen korjauskertoimilla vaatii tarkkaa seuranta tukkien luokkaan osumisesta. Seurannassa tapahtuu viivettä tukkikentän kierron takia. Apuna manuaalisessa korjauksessa ja sen ennakoinnissa voidaan käyttää edellisvuosien mittaustietoja. Lisäksi apuna voidaan käyttää alueellisia tilastoja puun kuoren paksuuksista, joihin mittaustuloksia voidaan vertailla. (Varis 2017, 74). Kaavan 1 avulla voidaan määrittää laskennallinen kuoren osuus latvaläpimitasta (Sipi 2009, 52).

$$B_d = \frac{100(D_b - D_0)}{D_0} \quad (\text{Kaava 1})$$

jossa

B_d = Kuoren osuus läpimitasta (%)

D_b = Kuorellinen läpimitta (mm)

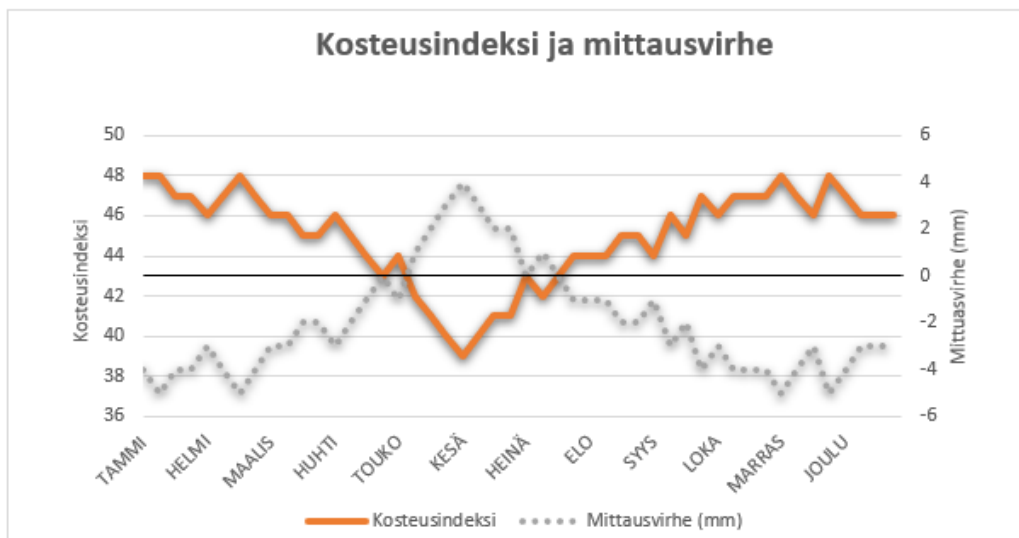
D_0 = Kuoreton läpimitta (mm)

6.3 Automaattinen vuodenajankorjaus

Ennen tukkilajittelun tukkimittarin järjestelmäpäivitystä, jonka mukana automaattinen vuodenajankorjaus -toiminto tuli, kuoren paksuuden korjausarvot syötettiin järjestelmään käsin vuodenaikojen ja olosuhteiden vaihtuessa. Automaattisen vuodenajankorjauksen tarkoituksena on automatisoida kuorikorjauksen käyttö järjestelmässä, jolloin korjaus olisi aina mahdollisimman paikkaansa pitävä. Lisäksi automaattisessa vuodenajankorjaus -toiminnossa ei synny tukkikentän kierrosta tapahtuvaa viivettä, sillä mittari määrittää korjauksen heti tukkia mitatessa.

Automaattinen vuodenajankorjaus tukin mittauksessa perustuu tukin tuorekosteuden vaihteluun, jonka perusteella kuorikorjauskerroin lasketaan. Tuorekosteudella ja mittarin laske-malla systemaattisella virheellä on huomattu olevan yhteys. Tukkien kosteuden ollessa korkea, mittari mittaa tukit systemaattisesti liian pieniksi. Tukkien kosteuden ollessa matala, mittari mittaa tukit systemaattisesti liian isoiksi. Näitä systemaattisia virheitä pyritään korjaamaan uudella mittauslaskennalla, joka hyödyntää laskennassa tukin tuorekosteutta.

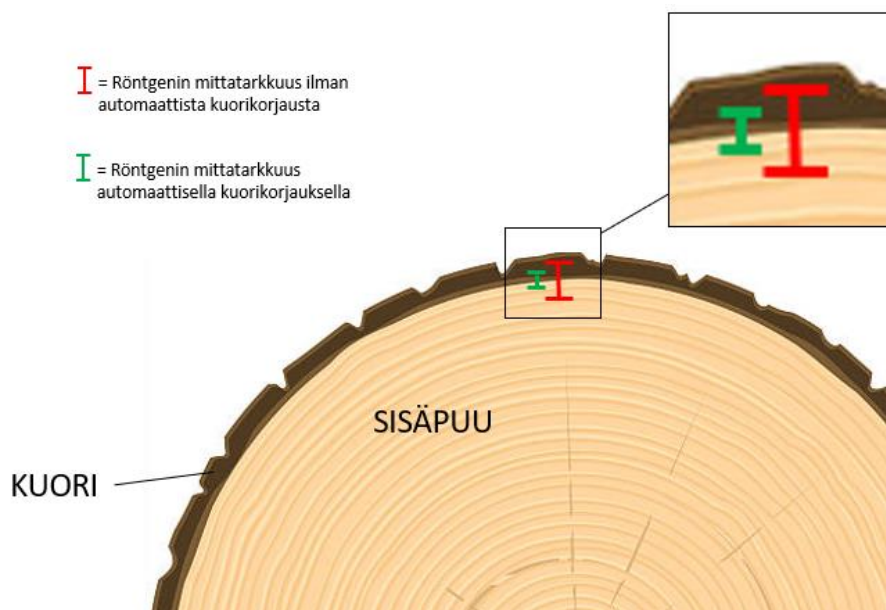
Röntgensäteilyn vaimentuvuuden muutoksista voidaan laskea tukin kosteus. Säteilyn vaimentuvuuserojen (kosteuden) perusteella tukkimittari laskee kosteusindeksin keskiarvon tukkiluokan tukeille. Kosteusindeksi on tukin kosteutta ilmaiseva suhdeluku. Kosteusindeksi ei ole sama asia kuin tukin kosteusprosentti. Teoreettista tukin kosteusindeksin ja mittausvirheen välistä suhdetta havainnollistetaan kuviossa 1. Kosteusindeksi vaihtelee vuodenajan mukaan. Tukkilajittelun tukkimittarin mittausvirhettä seurataan sahan tukkimittarin tuloksista, sillä sahan mittari mittaa tukit kuorettomina.



Kuvio 1. Kosteusindeksin ja mittausvirheen suhde

Tukkien kosteuden ollessa todella alhainen tai korkea, mittausvirhe kasvaa. Tällöin röntgenin mittaustuloksista on vaikea määrittää kuoren ja puun välistä rajapintaa. Kun tukeista on mitattu kosteusindeksi, voidaan sen perusteella tarkentaa mittaustulosten laskenta-alueita, josta kuoren ja puun rajapinta lasketaan. Mittausalueen tarkentaminen tapahtuu laskenta-algoritmin avulla, joka lähettää kosteusindeksin mukaan lasketun oletuksen kuoren paksuudesta tukkimittarille. Mittauksen lopputulokseen vaikuttavat kosteuden lisäksi monet muutkin tekijät.

Esimerkiksi ilman automaattista vuodenajankorjausta tukkimittarin mitatessa tukin kuoretomaksi latvaläpimitan, mittaustarkkuuden hajonta on voi olla merkittävän suuri. Jos hajonta on suuri, tukin oikeaan luokkaan osumisen todennäköisyys vähenee. Kun kosteusindeksi lasketaan mittauksista, voidaan tarkastelu kohdentaa tietylle paksuusalueelle. Toisin sanoen, kosteusindeksin avulla röntgenkuvasta voidaan ”etsiä” kuoren ja puun rajapinta oikealta paksuusalueelta. Tällöin mittaustuloksen virheen hajonta pienenee. Mittauksen tarkentamista tietylle paksuusalueelle havainnollistetaan kuvassa 15.



Kuva 15. Röntgenin mittatarkkuus automaattisen vuodenajankorjauksen kanssa

6.4 Työhypoteesit

Tässä luvussa esitetyt hypoteesit ovat johdettu tutkimustuloksista kuorintaan vaikuttavista tekijöistä. Hypoteeseilla pyritään perustelemaan röntgenissä tapahtuvien mittausrvirheiden syytä. Kuorintavastuksen ollessa suuri tapahtuu tilastollisesti eniten mittausrvirheitä. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan tutkita hypoteesien paikkaansa pitävyyttä vaan keskitytään automaattisen vuodenajankorjauksen toimivuuteen.

Tutkimuksista tukkien kuorintaan vaikuttavista tekijöistä on huomattu että, olosuhteet vaikuttavat merkittävästi kuorinnan onnistumiseen. Puun kosteuden ja lämpötilan vaihdellessa tapahtuu muutoksia puun kuoren ja puun välisissä sidoksissa, sekä kuoren ja puun rakenteissa. (Varis 2017, 75–76.) Fysikaaliset muutokset, etenkin veden olomuodon tai määrän muutokset kuoren eri osissa tai puussa voivat oletettavasti vaikuttaa röntgenmittauksen virheisiin.

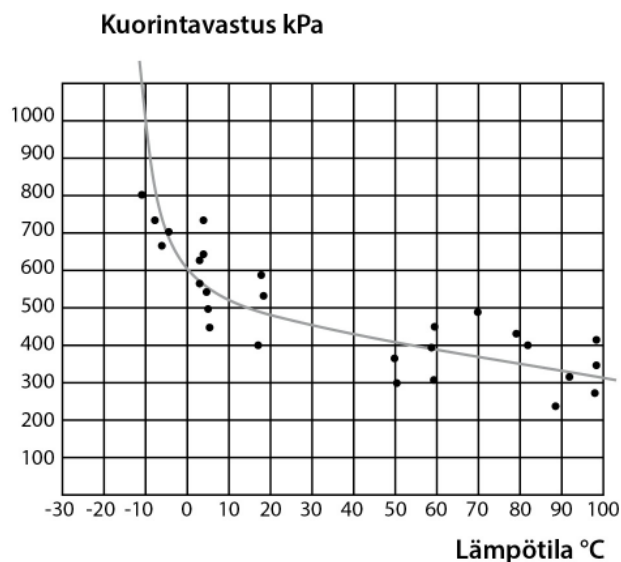
1. työhypoteesi

Puun kosteusprosentti vaikuttaa kuorintavastukseen eli puun ja kuoren väliseen sidoslujuuteen. Puun jälsikerros on elävää ja elastista solukkoa, jossa tapahtuu puun paksuuskasvu. Puun kuivuessa, jälsikerroksen kuitujen väliset sidokset lujittuu ja kuori kutistuu. Kuori kutistuu enemmän kuin puuainees, mikä todennäköisesti lisää kuoren ja puun sidoslujuutta. (Varis 2017, 73–75.) Puun kosteusprosentin pudotessa todella alhaiseksi, kuoren ja puun välinen sidos alkaa heiketä ja kuori alkaa irrota itsestään. Puun kuivuminen sekä kuoressa

tapahtuva kutistuminen aiheuttavat todennäköisesti myös mittausvirheitä röntgenmittarilla (Anttila 2021).

2. työhypoteesi

Lämpötilalla on vaikutusta puun kosteusprosenttiin, mutta se vaikuttaa myös itsessään puun ja kuoren väliseen sidoslujuteen. Lämpötilan pudotessa puun ja kuoren välinen sidoslujuus kasvaa. Kuorintavastus kasvaa tasaisesti 100 °C aina 10 °C asti, jonka jälkeen vastus alkaa kasvamaan nopeammin lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle. Jäätyneen puun kuoren sidoslujuus on todella suuri, mikä selittyy todennäköisesti jälsikerroksen solujen kasvaneesta lujudesta. (Varis 2017, 75–76.) Puun kuoren eri kerroksien ja puun jäätyessä (puuhun sitoutuneen veden jäätyessä) röntgenmittari ei välttämättä havaitse puun ja kuoren välistä rajapintaa. Lämpötilan vaikutus kuorintavastukseen esitetään kuviossa 2.



Kuvio 2. Kuorintavastuksen ja lämpötilan vaikutus toisiinsa (Saikkonen, Varis 2017, 76 mukaan)

7 Tutkimusaineisto ja menetelmät

7.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona käytettiin tukkien lajittelusta ja sahalinjalta syntyviä mittausraportteja. Raporttien tuloksista voitiin tarkastella tuloksia ennen automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönottoa ja sen jälkeen. Näin voitiin vertailla mittausdataa ennen automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönottoa. Automaattinen vuodenajankorjaus otettiin käyttöön viikolla 39.

Tutkimusaineistona käytettiin raportteja:

- tukkiluokan lajitteluhalkaisijan keskiarvon muutoksesta.
- tuorekäyttösuhteesta, josta voidaan seurata, ovatko sahattavat tukit asetteeseen sopivia.
- tukkiluokkiin osumisen trendistä, josta nähdään pitkän ja keskipitkän aikavälin muutokset luokkiin osumisessa.

7.2 Koesuunnitelma

Rengon tukkimittarin mittaustarkkuustesti on tehty keväällä 2020. Mittaustarkkuustestit toteutettiin toistomittausmenetelmällä. Testitukit mitattiin käsin mittasaksilla, jonka jälkeen tukit mitattiin tukkilajittelun tukkimittarilla. Tämän jälkeen tukit kuorittiin ja mitattiin uudelleen tukkimittarilla kuorettomina. Testitulosten perusteella mittarille tehtiin kalibroitua. (Anttila 2021.) Koska laajat mittatarkkuustesti on aiemmin toteutettu mittarille, opinnäytetyön tutkimuskoe keskittyi ainoastaan automaattisen vuodenajankorjauksen toimintaan. Tutkimuksessa toteutettiin koesuunnitelman mukaiset koemittaukset.

7.2.1 Ensimmäinen koemittaus

Ensimmäisiä koemittauksia varten valittiin noin 30 tukkia per tukkiluokka, luokista D195 ja D248. Kyseiset tukkiluokat valikoituivat testiluokiksi, koska kyseisistä tukkiluokista sahataan yleisiä dimensioita tietyillä asetteilla. Ensimmäiset koemittaukset suoritettiin 2.11.2021.

Tukkien koemittaus vuodenajankorjauksen kanssa

Ensimmäisessä mittauskokeessa testitukit mitattiin tukkilajittelun tukkimittarilla automaattisen vuodenajankorjauksen kanssa. Mitattavat testitukit valittiin valmiiksi lajitelluista tukkiluokan tukeista. Tukit numeroitiin, jotta mittaus tulokset voitiin kohdentaa oikealle tukille. Testimittauksien jälkeen nähtiin, mittaako tukkimittari tukit samaan luokkaan. Tukkiluokan

D195 tukkeja oli 33 kappaletta ja luokan D248 tukkeja oli 35 kappaletta. Testitukit annosteltiin lajittelulinjalle tukki kerrallaan (kuva 16), jotta voitiin tarkastaa numeroitujen testitukien mittausjärjestys.



Kuva 16. Numeroidut tukit annosteltiin linjalle mitattaviksi (Kuva: Aleksi Kätkytniemi)

Tukkien koemittaus ilman vuodenajankorjausta

Kun molemmat tukkiluokat oltiin mitattu, tukkiröntgenin ohjelmistoa muutettiin ottamalla automaattinen vuodenajankorjaus pois käytöstä. Tämän jälkeen tukit mitattiin uudestaan tukkimittarilla. Testitukit mitattiin yksi kerrallaan ja mittausjärjestys merkattiin, jotta mittaus-tulokset voitiin kohdentaa oikealle tukille. Vanhan laskentatavan antamia tuloksia voitiin vertailla automaattisen vuodenajankorjauksen antamiin tuloksiin. Testitukit ohjattiin niille erikseen määrättyyn lokeroon (kuva 17).



Kuva 17. Testitukit ohjattu omiin lokeroihinsa (Kuva: Aleksis Kätkytniemi)

Tukkien manuaalinen mittaus

Kun tukit oltiin mitattu vuodenajankorjauksella ja ilman, tukit mitattiin käsin mittasaksilla (kuva 18). Käsin tukeista mitattiin latvaläpimitat, pituus ja rungon läpimitat, joista mittasakset laskivat tukkien tilavuudet. Käsin mitattuja latvaläpimittatuloja, pituuksia ja tilavuuksia voitiin verrata tukkilajittelun sekä sahan mittarin tuloksiin.



Kuva 18. Testitukkien käsinmittaus (Kuva: Aleksis Kätkytniemi)

Tukkien koemittaus kuorettomina

Käsinmittauksen jälkeen testitukit syötettiin sahalinjaan testitukkiluokittain. Testitukit kuoritettiin, jonka jälkeen ne mitattiin sahan tukkimittarilla omina sahauserinä. Tukkien numerointi otettiin ylös ennen mittaria, jotta mittaustiedot voitiin kohdentaa oikeille testitukeille (kuva 19). Kuorettomien testitukkien mittaustuloksia voitiin vertailla tukkilajittelun mittarin koemittaustuloksiin sekä käsin mitattuihin tuloksiin.



Kuva 19. Kuoritut testitukit sahan mittariin (Kuva: Aleks Kätkyntiemi)

7.2.2 Toinen koemittaus

Toista koemittausta varten valittiin 69 tukkia D248 tukkiluokasta. Toinen koemittaus suoritettiin 18.11.2021. Toisessa koemittauksessa tukkeja ei numeroitu, sillä tarkoituksena oli tarkastella eri mittaustulosten keskiarvoja. Lisäksi tämä mahdollisti suuremman erän mittauksen.

Tukkien koemittaus vuodenajankorjauksen kanssa

Testitukit mitattiin tukkilajittelun mittarilla automaattisen vuodenajankorjauksen ollessa päällä. Tukit ohjattiin samaan lokeroon. Lokerosta testitukit syötettiin sahalinjaan ja kuoritettiin. Kuorinnan jälkeen tukit ohjattiin pois sahalinjalta (kuva 20).



Kuva 20. Kuoritut testitukit ohjattuna hylkylokeroon (Kuva: Mikko Anttila)

Tukkien koemittaus tukkilajittelun mittarilla kuorettomina

Kun kaikki testitukit oltiin kuorittu, mitattiin testitukit kuorettomina uudelleen tukkilajittelun mittarilla (kuva 21). Automaattisen vuodenajankorjauksen ei pitäisi vaikuttaa kuorettomien tukkien mittaustuloksiin. Tällä tavoin voitiin tarkastaa, mittaako tukkilajittelun mittari automaattisen vuodenajankorjauksen kanssa kuorellisen tukin kuorettoman latvaläpimitan oikein. Mittauksien jälkeen tukit ohjattiin samaan lokeroon, josta ne siirrettiin odottamaan sahaan syöttämistä.



Kuva 21. Kuorettomien testitukkien mittaus tukkilajittelussa (Kuva: Aleks Kätkyntiemi)

Tukkien koemittaus kuorettomina

Kuorettomat tukit syötettiin uudelleen sahalinjaan. Kuorettomat tukit ajettiin kuorimakoneen läpi ilman kuorintaa, ettei puuainesta kuoriutuisi ja tukin dimensiot muuttuisivat. Tukit mitattiin sahan mittarilla, jolloin saatiin kuorettomien tukkien mittaustulokset kahdelta eri mittarilta. Näin voitiin vertailla tukkilajittelun ja saha mittarin kuorettomien tukkien mittausieneroja.

8 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

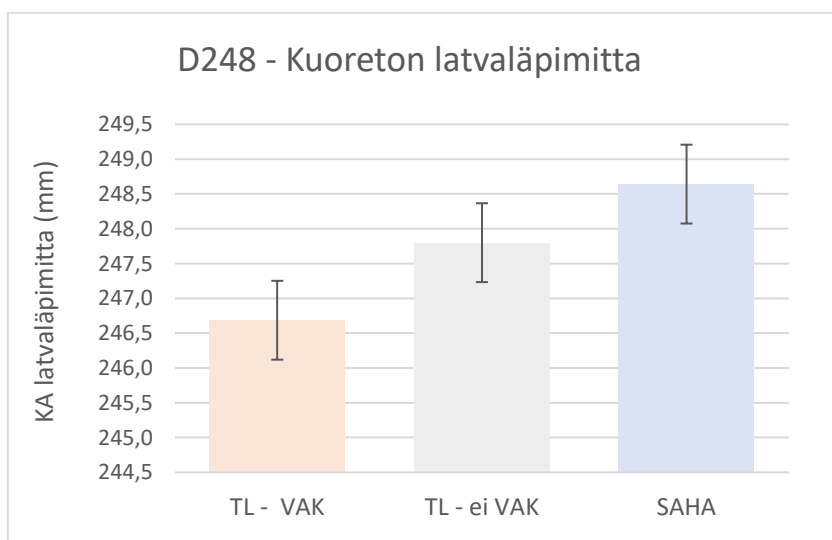
Tuloksissa käytetään seuraavia lyhenteitä:

- **TL – VAK** = tukkilajittelun tukkimittari – mittaukset vuodenajankorjauksella
- **TL – ei VAK** = tukkilajittelun tukkimittari – mittaukset ilman korjausta
- **SAHA** = sahan tukkimittari – mittaukset kuorituilla tukeilla
- **KÄSI** = mittasaksilla käsinmittaus
- **TL - kuorittu** = tukkilajittelun tukkimittari – mittaukset kuorituilla tukeilla

8.1 Ensimmäinen koemittaus

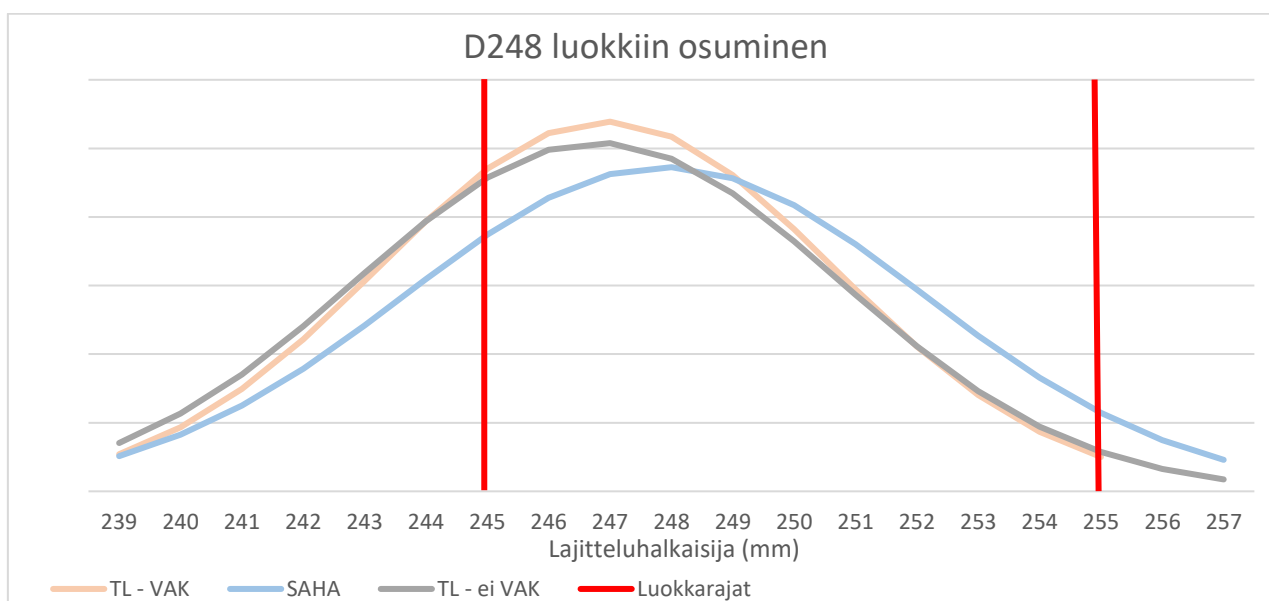
Testitukit luokasta D248

Ensimmäisen koemittauksen tukkiluokan D248 tukkien kuorettomat latvaläpimitat esitetään kuviossa 3. Kuvion pylväsdiagrammissa esitetään testitukien latvaläpimittojen keskiarvot ja keskihajonnat vuodenajankorjauksella, ilman korjausta ja sahan mittarilla mitattuna. Tukkilajittelun mittaukset (TL – VAK ja TL - ei VAK) ovat tehty kuorelliselle tukille tukkiröntgenin mittaamana. Sahan tukkimittarin tulos on saatu kuorituista tukeista. Tuloksista voidaan havaita, että testitukkiluokalla TL - VAK on mitannut tukkien kuorettoman latvaläpimitan keskiarvollisesti muita mittauksia pienimmiksi.



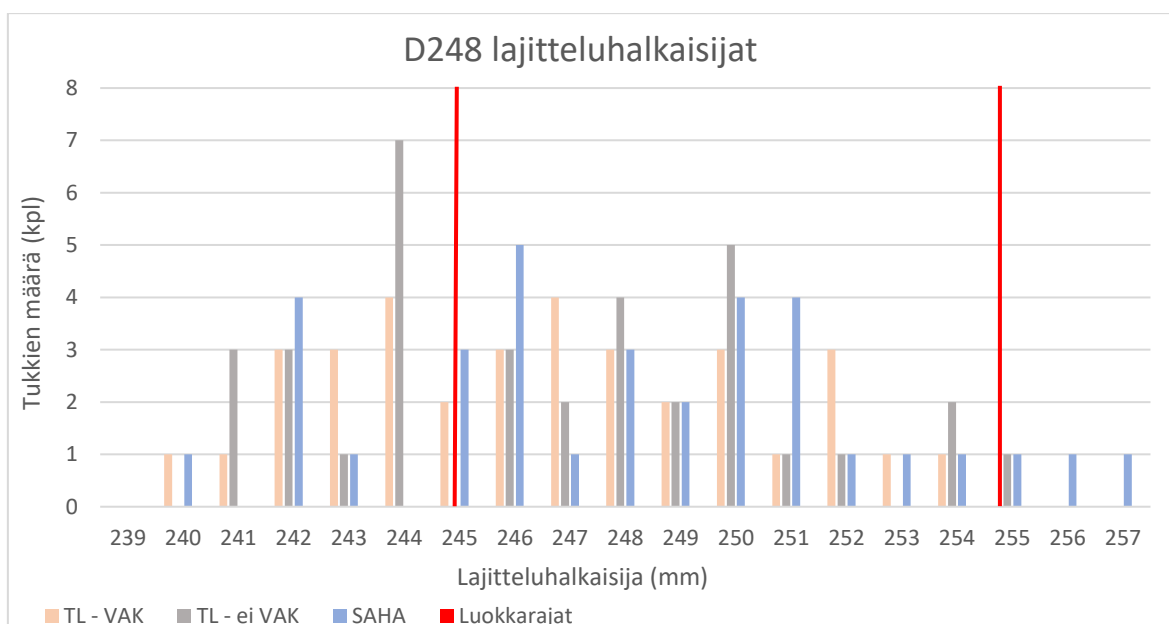
Kuvio 3. 1. koemittauksen D248 testitukien kuorettomat latvaläpimitat

Kuviossa 4 esitetään tukkiluokan D248 lajitteluhalkaisijoiden jakaumat eri mittauksilta. Tulokset ovat tukkilajittelun mittarilta, vuodenajankorjauksella mitattuja sekä sahan mittarilta. TL – VAK mittauksista 65,7 % tukeista osui luokkarajojen välille (245 mm – 255 mm) ja 34,3 % tukeista mitattiin alimittaisiksi. TL – ei VAK mittauksista 77,1 % tukeista osui luokkarajojen välille, 20 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja 2,9 % tukeista mitattiin ylimittaisiksi. Sahan mittarin mittauksista 71,4 % tukeista osui luokkarajojen välille, 17,1 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja 8,6 % tukeista mitattiin ylimittaisiksi.



Kuvio 4. D248 testitukkien luokkaan osuminen

Kuviossa 5 esitetään tukkiluokan D248 lajitteluhalkaisijoiden osumat eri mittauksilta. Tuloksista huomataan, että sahan mittarin lajitteluhalkaisijoiden osumissa on eniten hajontaa (pienin halkaisija 240 mm ja suurin 257 mm).



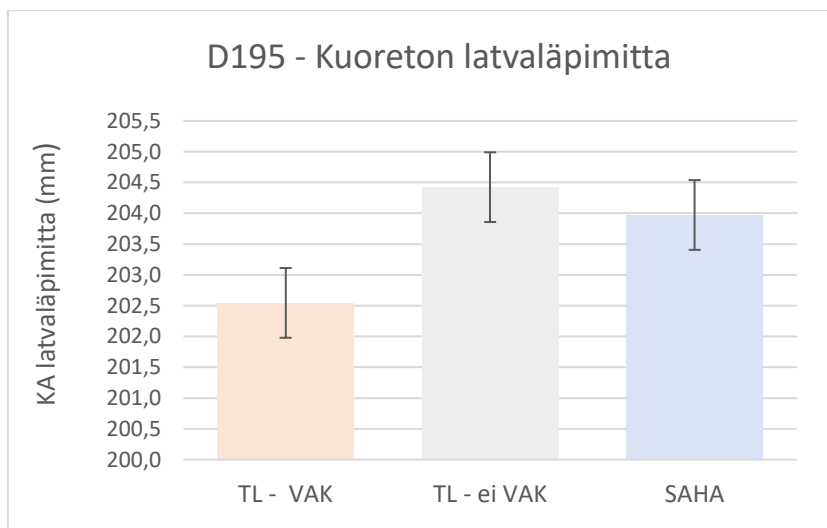
Kuvio 5. D248 testitukkien lajitteluhalkaisijat

Kuorellisten tukkien mittaustuloksista (TL – VAK ja TL – ei VAK) huomattiin, että TL – VAK mittaa kuoren paksuutta ja kuoren prosentuaalista osuutta isommaksi kuin TL – ei VAK. Kuoren paksuuden keskiarvo oli 16,3 mm TL – VAK mittaamana, kuoren laskennallinen osuus tukista oli 6,6 %. Kuoren paksuuden keskiarvo TL – ei VAK mittaamana oli 13,9 mm ja kuoren laskennallinen osuus oli 5,6 %. Eroa kuoren keskiarvoisessa paksuudessa oli 2,4 mm ja laskennallisessa kuoren osuudessa 1 %.

Testitukkien pituusmitoissa ei ollut merkittäviä eroja TL – VAK ja TL – ei VAK mittaamina. Pituusmittaeroja sahan mittarin mittaamana verrattuna käsin mitattuihin pituuksiin esiintyi muutamilla tukeilla.

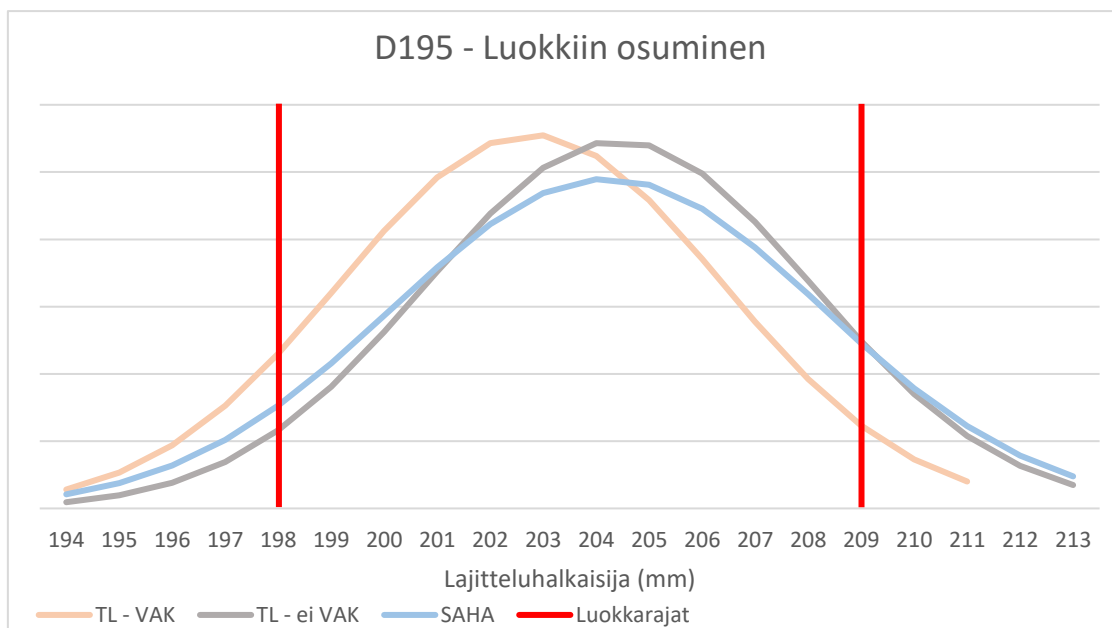
Testitukit luokasta D195

Ensimmäisen koemittauksen tukkiluokan D195 tukkien kuorettomat latvaläpimittatulokset esitetään kuviossa 6. Kuviossa esitetään testitukkien latvaläpimittojen keskiarvot ja keskihajonnat vuodenajankorjauksella, ilman korjausta ja sahan mittarilla mitattuna. Tukkilajittelun mittaukset (TL – VAK ja TL - ei VAK) ovat tehty kuorelliselle tukilla tukkiröntgenin mittaamana. Sahan tukkimittarin tulos on saatu kuorituista tukeista. Tuloksista voidaan havaita, että testitukkiluokalla TL - VAK on mitannut tukkien kuorettoman latvaläpimitan keskiarvoisesti muita mittauksia pienimmiksi.



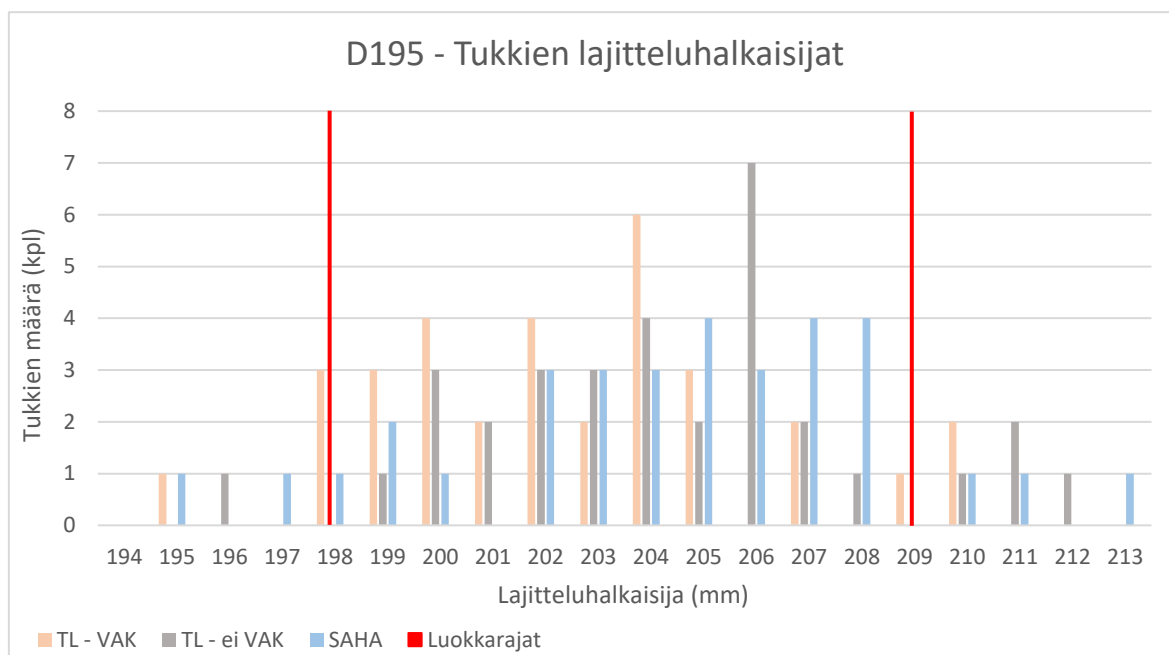
Kuvio 6. 1. koemittauksen D195 testitukkien kuorettomat latvaläpimitat

Kuviossa 7 esitetään tukkiluokan D195 lajitteluhalkaisijoiden jakaumat eri mittauksilta. Tulokset ovat tukkilajittelun mittarilta, vuodenajankorjauksella mitattuja sekä sahan mittarilta. TL – VAK mittauksista 90,9 % tukeista osui luokkarajojen välille (198 mm – 209 mm), tukeista mitattiin 3,0 % alimittaisiksi sekä 6,1 % mitattiin ylimittaisiksi. TL – ei VAK mittauksista 84,8 % tukeista osui luokkarajojen välille, 12,1 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja 3 % tukeista mitattiin ylimittaisiksi. Sahan mittarin mittauksista 81,8 % tukeista osui luokkarajojen välille, 9,1 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja ylimittaisiksi.



Kuvio 7. D195 testitukkien luokkaan osuminen

Kuviossa 8 esitetään tukkiluokan D195 lajitteluhalkaisijoiden osumat eri mittauksilta. Tulokset ovat tukkilajittelun mittarilta, vuodenajankorjauksella mitattuja sekä sahan mittarilta. Tuloksista huomataan, että sahan mittarin lajitteluhalkaisijoiden osumissa on eniten hajontaa (pienin halkaisija 195 mm ja suurin 213 mm). Toiseksi eniten hajontaa on TL – ei VAK mittauksissa.



Kuvio 8. D195 testitukkien lajitteluhalkaisijat 1. koemittauksissa

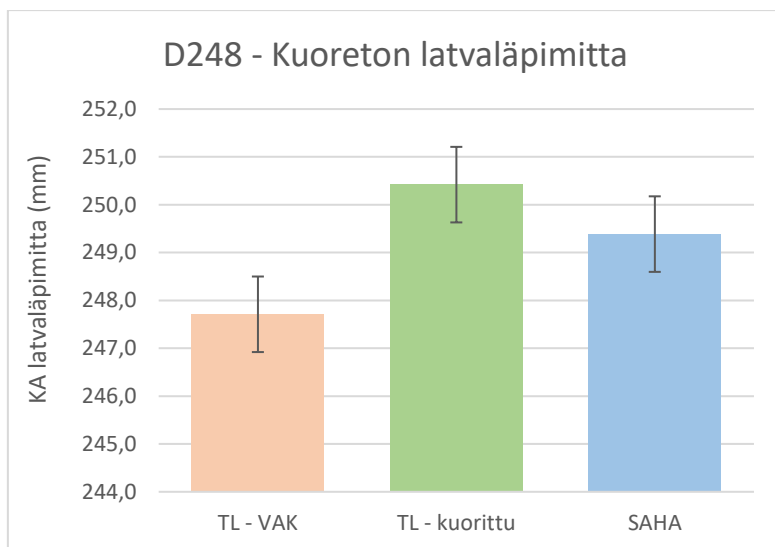
Kuorellisten tukkien mittaustuloksista (TL – VAK ja TL – ei VAK) huomattiin, että TL – VAK mittaa kuoren paksuutta ja kuoren prosentuaalista osuutta isommaksi kuin TL – ei VAK. Kuoren paksuuden keskiarvo oli 15,3 mm TL – VAK mittaamana, kuoren laskennallinen osuus tukista oli 7,5 %. Kuoren paksuuden keskiarvo TL – ei VAK mittaamana oli 12,9 mm ja kuoren laskennallinen osuus oli 6,3 %. Eroa kuoren keskiarvoisessa paksuudessa oli 2,4 mm ja laskennallisessa kuoren osuudessa 1,2 %.

Toisen koemittauksen testitukkien pituusmitoissa ei ollut merkittäviä eroja TL – VAK ja TL – ei VAK mittaamina. Pituusmittaeroja sahan mittarin mittaamana verrattuna käsin mitattuihin pituuksiin esiintyi muutamilla tukeilla.

8.2 Toinen koemittaus

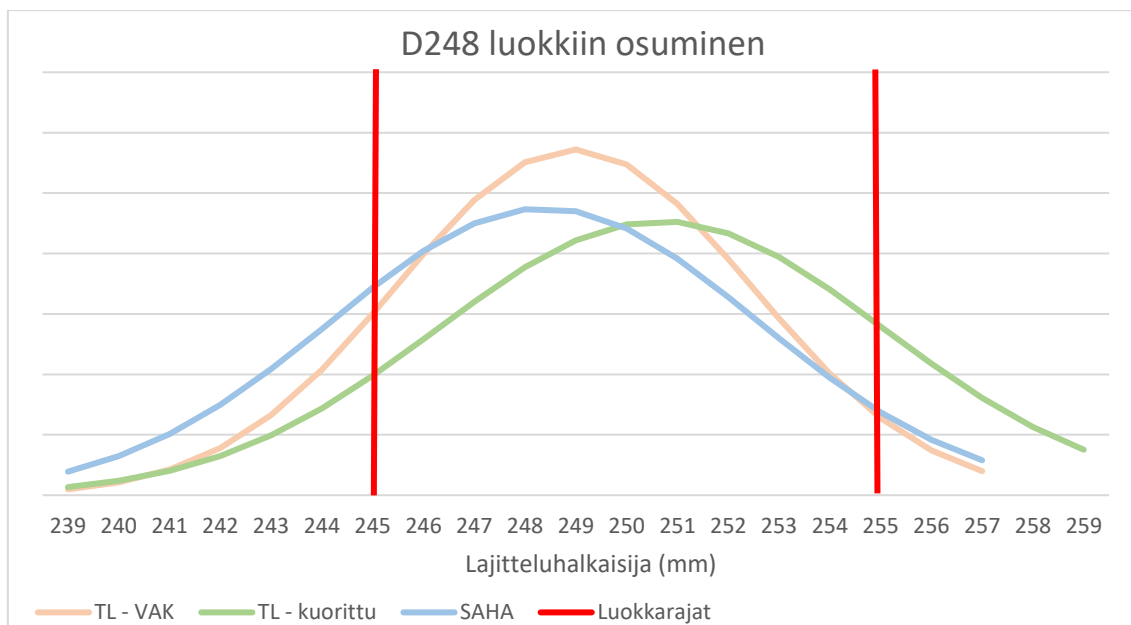
Toisen koemittauksen tukkiluokan D248 tukkien kuorettomat latvaläpimittatulokset esitetään kuviossa 9. Kuviossa esitetään testitukkien latvaläpimittojen keskiarvot ja

keskihajonnat vuodenajankorjauksella, kuorittuna tukkilajittelun ja sahan mittarilla mitattuna. Tukkilajittelun mittaus (TL – VAK) on tehty kuorelliselle tukille. Sahan tukkimittarin tulos on saatu kuorituista tukeista. Tuloksista voidaan havaita, että testitukkiluokalla TL - VAK on mitannut tukkien kuorettoman latvaläpimitan keskiarvillisesti muita mittauksia pienimmiksi. Lisäksi tukkilajittelun mittaukset kuoritulle tukille ovat keskiarvillisesti kaikkein suurimpia.



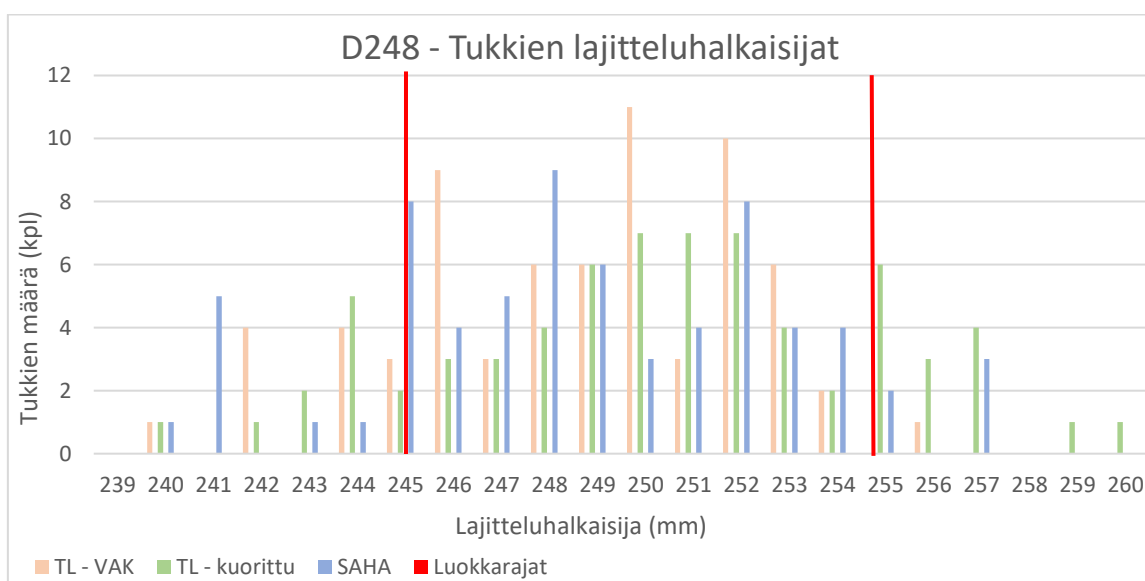
Kuvio 9. 2. koemittauksen D248 testitukkien kuorettomat latvaläpimitat

Kuviossa 10 esitetään tukkiluokan D248 lajitteluhalkaisijoiden jakaumat eri mittauksilta. Tulokset ovat kuorellisesta tukista tukkilajittelusta (TL – VAK), kuoritusta tukeista tukkilajittelusta sekä kuorituista tukeista sahan mittarilta. TL – VAK mittauksista 82,6 % tukeista osui luokkarajojen välille (245 mm – 255 mm) ja 17,4 % tukeista mitattiin alimittaisiksi. Tukkilajittelun mittarin kuorettomien tukkien mittauksista 73,9 % tukeista osui luokkarajojen välille, 13 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja 13 % tukeista mitattiin ylimittaisiksi. Sahan mittarin mittauksista 79,7 % tukeista osui luokkarajojen välille, 7,2 % tukeista mitattiin alimittaisiksi ja ylimittaisiksi mitattiin 11,6 % tukeista.



Kuvio 10. D248 testitukkien luokkaan osuminen 2. koemittauksissa

Kuviossa 11 esitetään tukkiluokan D248 lajitteluhalkaisijoiden osumat eri mittauksilta. Tulokset ovat kuorellisesta tukista tukkilajittelusta (TL – VAK), kuoritusta tukeista tukkilajittelusta sekä kuorituista tukeista sahan mittarilta. Tuloksista huomataan, että kuorittujen tukkien tukkilajittelun mittarin mittauksista lajitteluhalkaisijoiden osumissa on eniten hajontaa (pienin halkaisija 240 mm ja suurin 260 mm). Pienin hajonta on TL – ei VAK mittauksissa, mutta osumat painottuvat alarajalle.



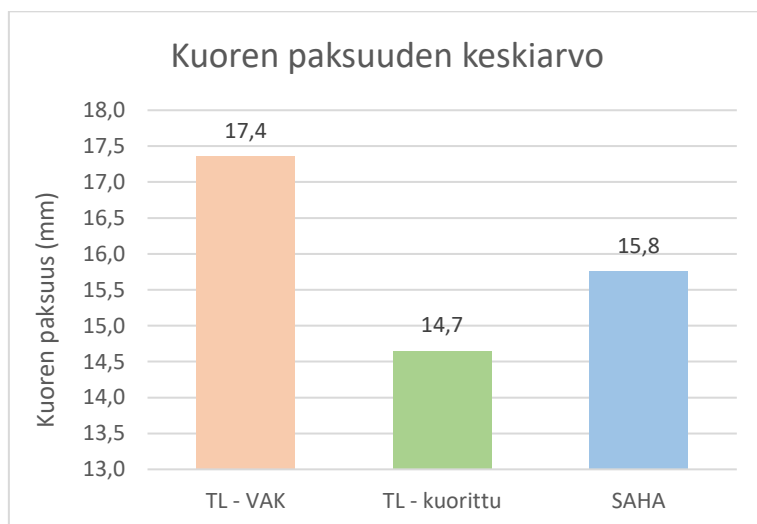
Kuvio 11. D248 testitukkien lajitteluhalkaisijat 2. koemittauksissa

Pituusmittauksien erot tukkilajittelun mittarille sekä sahan mittarilla olivat myös suuret yksittäisien tukkien pituusmittoja vertaillen. Suurin yksittäinen mittausero pituudessa oli 152,5 cm. Yli 50 cm pituusmittaeroja oli 55% mittauksista, 38 yksittäisellä tukilla.

Kuorellisten tukkien mittaustuloksista huomattiin, että TL – VAK mittaa kuoren paksuutta ja kuoren prosentuaalista osuutta isommaksi kuin tukkilajittelun kuorettomien tukkien mittausta tai sahan tukkimittarin mittausta. Kuoren paksuuden keskiarvo oli 17,4 mm TL – VAK mittaamana, kuoren laskennallinen osuus tukista oli 7,0 %. (kuvio 12)

Kuorettomien tukkien laskennallinen kuoren paksuus on laskettu TL -VAK kuorellisen tukin paksuustuloksista. Kuorettoman tukin tukkilajittelun mittarin mittaamana kuoren laskennallinen paksuus oli 14,7 mm ja kuoren laskennallinen osuus oli 5,9 %. Eroa kuoren keskiarvoisessa paksuudessa tukkilajittelun mittauksien (TL- VAK ja TL - kuorittu) välillä oli 2,7 mm ja laskennallisessa kuoren osuudessa eroa oli 1,1 %. (kuvio 12)

Kuorettomien tukkien laskennallinen kuoren paksuuden keskiarvo sahan mittarin mittaamana oli 15,8 mm ja kuoren laskennallinen osuus oli 6,4 %. Eroa kuoren keskiarvoisessa paksuudessa tukkilajittelun mittauksien (TL- VAK) ja sahan mittarin välillä oli 1,6 mm ja laskennallisessa kuoren osuudessa eroa oli 0,6 %. (kuvio 12)

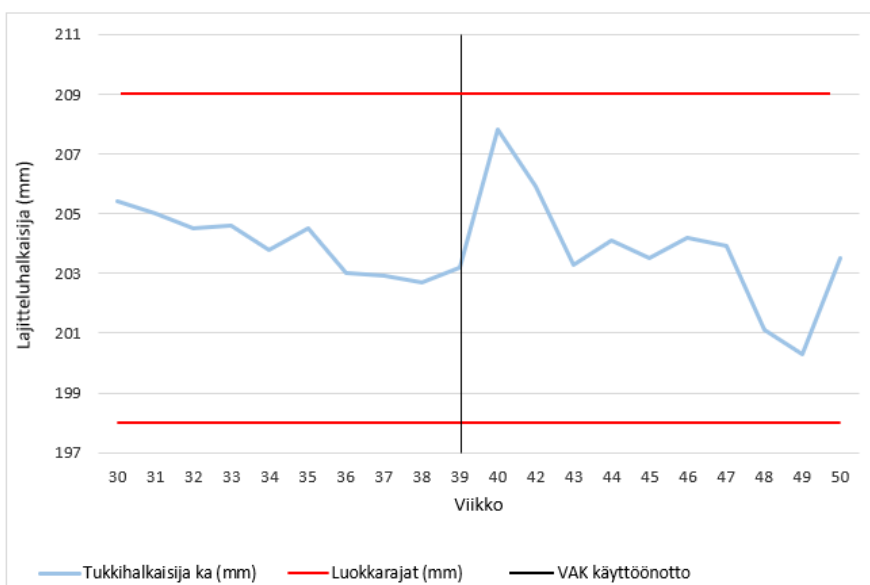


Kuvio 12. Kuoren paksuuden keskiarvo

8.3 Raporttien tuloksia

Testitukkiluokkien D195 ja D248 lajitteluhalkaisijan keskiarvoa on seurattu viikosta 30 aina viikolle 50 asti. Viikolla 39 otettiin tukkilajittelun tukkimittarilla käyttöön automaattinen vuodenajankorjaus.

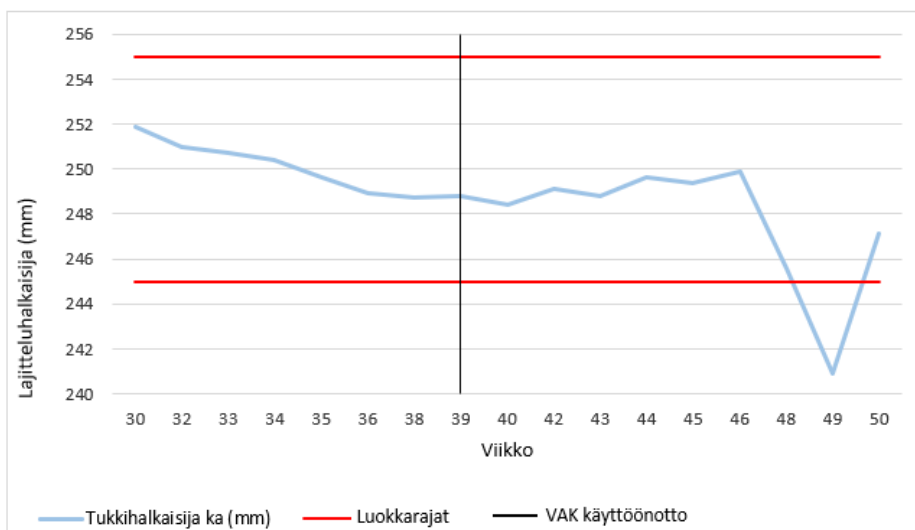
Kuviossa 13 esitetään tukkiluokan D195 lajitteluhalkaisijan keskiarvon muutos. Tulokset ovat sahan mittarin mittaamia. Kuvioista voidaan nähdä, että TL – VAK käyttöönoton jälkeen tukkiluokan lajitteluhalkaisijan keskiarvo nousi selvästi. Seuraavien viikkojen aikana (viikot 40 – 41) lajitteluhalkaisijan keskiarvo tasoittui luokkarajojen keskiarvon tuntumaan. Viikosta 47 viikkoon 49 ulkolämpötila laski pakkasen puolelle. Kyseisenä ajanjaksoja pakkasta oli 0 °C aina 22 pakkasasteeseen. Pakkasella lajiteltujen tukkien lajitteluhalkaisija keskiarvo laski selvästi luokkarajan alarajan tuntumaan. Tämä ilmiö voi osittain johtua kuorinnasta, sillä pakkasella kuorimakoneen teräpaineita joudutaan nostamaan kuoren ollessa jäätyneitä. Tästä voi seurata tukin latvan ylikuorintaa, mikä näkyy sahan mittarin lajitteluhalkaisijan mittaustuloksissa. Sään lauhduttua viikolla 50 lämpöasteiden puolelle (+0°C – +4°C), tukkien lajitteluhalkaisija tasoittui lähemmäksi luokkarajojen keskiarvoa.



Kuvio 13. D195 lajitteluhalkaisijan keskiarvon muutos

Kuviossa 14 esitetään tukkiluokan D248 lajitteluhalkaisijan keskiarvon muutos. Tulokset ovat sahan mittarin mittaamia. Kuvioista voidaan nähdä, että TL – VAK käyttöönoton jälkeen tukkiluokan lajitteluhalkaisijan keskiarvossa ei tapahtunut suuria muutoksia. Viikosta 47 viikkoon 49 ulkolämpötila laski pakkasen puolelle. Kyseisenä ajanjaksoja pakkasta oli 0 aina

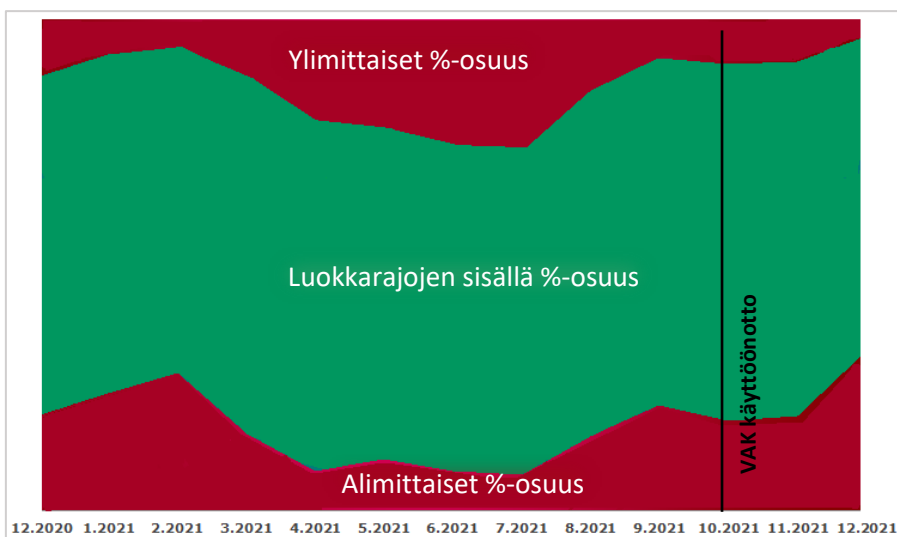
22 pakkasasteeseen. Pakkasella lajiteltujen tukkien lajitteluhalkaisija keskiarvo laski selvästi luokkarajan alarajan alle. Tämä ilmiö voi osittain johtua kuorinnasta, sillä pakkasella kuorimakoneen teräpaineita joudutaan nostamaan kuoren ollessa jäätynyttä. Tästä voi seurata tukin latvan ylikuorintaa, mikä näkyy sahan mittarin lajitteluhalkaisijan mittaustuloksissa. Sään lauhduttua viikolla 50 lämpöasteiden puolelle ($+0^{\circ}\text{C} - +4^{\circ}\text{C}$), tukkien lajitteluhalkaisija tasoittui luokkarajojen välille, kuitenkin alarajan tuntumaan.



Kuvio 14. D248 lajitteluhalkaisijan keskiarvon muutos

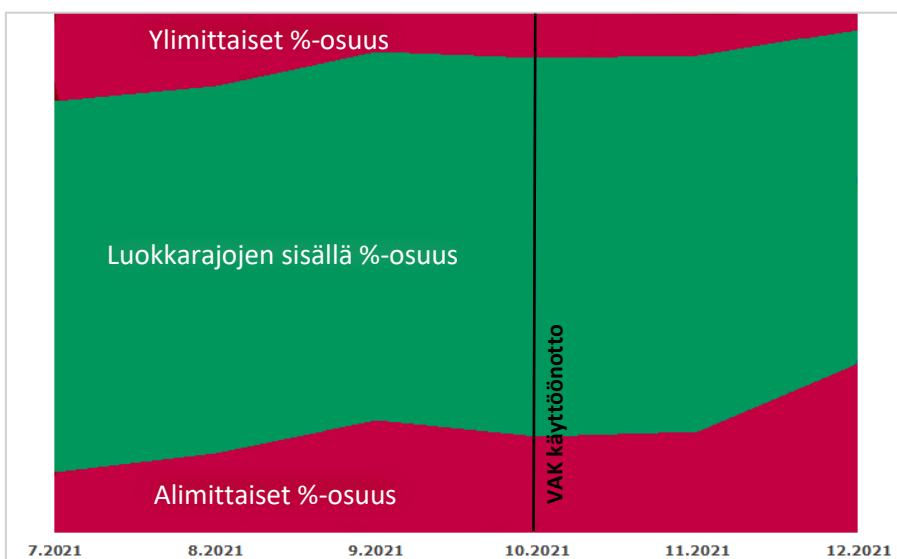
Kaikkien tukkiluokkien tukkijakauman trendiä seurataan sahalla. Trendiä seurataan pitkällä ja keskipitkällä aikavälillä. Trendikuvaajista nähdään tukkiluokkien jakauman eroja eri vuodenaikoina.

Kuviossa 15 esitetään tukkien lajitteluhalkaisijan jakauman trendi yhden vuoden aikana (joulukuusta 2020, joulukuuhun 2021). Kuvioista nähdään, että talvisin tukkien lajitteluhalkaisijan jakaumassa on enemmän alimittaisia verrattuna kesäaikaan, jolloin jakaumassa on enemmän ylimittaisia. Kyseisenä ajanjaksona 16,7 % tukeista on ollut lajitteluhalkaisijaltaan alimittaisia, 69,3% tukeista on osunut luokkarajojen välille ja 13,9 % tukeista on ollut lajitteluhalkaisijaltaan ylimittaisia.



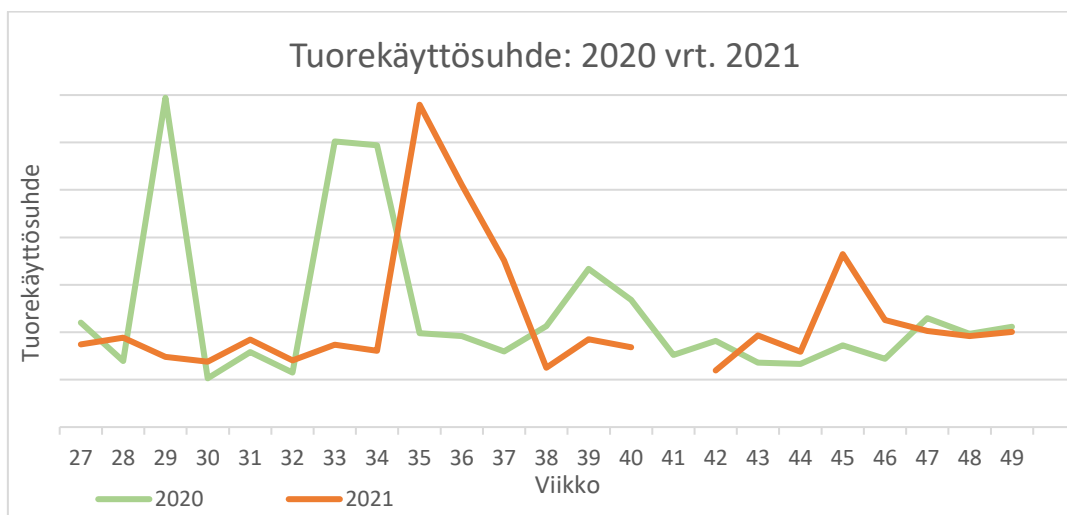
Kuvio 15. Lajitteluhalkaisijan jakauman trendi pitkällä aikavälillä

Kuviossa 16 esitetään tukkien lajitteluhalkaisijan trendin jakauman keskipitkällä aikavälillä. Aikavälinä on käytetty heinäkuun ja joulukuun välistä ajanjaksoa. Kuvioista nähdään, että TL – VAK käyttöönoton jälkeen lajitteluhalkaisijaltaan alimittaisten tukkien osuus on kasvanut vähitellen. Marraskuusta eteenpäin alimittaisten osuus on kasvanut voimakkaammin. Osittaisena syynä tähän voi olla pakkasesta johtuva ylikuorinta. Kuvion esittämän ajanjakson aikana mitatuista tukeista 19,7 % on ollut lajitteluhalkaisijaltaan alimittaisia, 70,5 % tukeista on osunut luokkarajojen välille ja 9,6 % tukeista on ollut lajitteluhalkaisijaltaan ylimittaisia.



Kuvio 16. Lajitteluhalkaisijan jakauman trendi keskipitkällä aikavälillä

Tuorekäyttösuhteella kuvataan, kuinka monta kuutiota tukkeja käytetään yhtä kuutiota tuotetta sahatavarakuutiota kohden. Tuoreella sahatavaralla tarkoitetaan valmiita sahatavarakappaleita, joita ei ole vielä kuivattu ja tasattu. Kuviossa 17 vertaillaan vuoden 2020 ja 2021 tuorekäyttösuhteita samalla aikavälillä. Kuvioista nähdään, että tuorekäyttösuhteen muutokset ovat olleet samankaltaisia molempina vuosina. Kyseisen ajanjakson (viikosta 27 viikkoon 49) tuorekäyttösuhteen keskiarvo oli vuonna 2020 0,03 m³ (1,49 %) pienempi kuin vuonna 2021 samana ajanjaksona. Ero ei ole merkittävä, eikä samat ajanjaksot eri vuosina ole täysin vertailtavissa keskenään. Tukkien tarkan lajitteluhalkaisijan mittauksen lisäksi tuorekäyttösuhteeseen vaikuttavat sahattavat asetteet, sää ja olosuhteet (ennen TL – VAK käyttöönottoa) sekä sivulautojen laadutus.



Kuvio 17. Tuorekäyttösuhteiden vertailua

8.4 Tuloksien yhteenveto

Molemmilla koemittauksilla sekä molemmilla testitukkiluokilla TL – VAK mittasi kuorellisen tukin lajitteluhalkaisijan kuorittua tukkia pienemmäksi. Lisäksi TL – VAK mittasi kuoren paksumutta ja sen prosentuaalista osuutta muita mittauksia suuremmiksi, ero oli noin 1 %. Tästä syystä tukkien lajitteluhalkaisijan jakauma oli lähellä alarajaa TL – VAK mittaamana. Kuitenkin tukkien lajitteluhalkaisijan jakaumassa oli vähiten hajontaa TL – VAK mittaamana.

Keskipitkässä ja pitkässä luokkaan osumisen trendeissä oli havaittavissa lajitteluhalkaisijoiltaan alimittaisten osuuden kasvu automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönoton jälkeen. Alimittaisten osuus ennen automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönottoa on

tavallisesti noussut syksyn ja talven aikana. Tämän perusteella vuodenajankorjaus ei korjaa tukkien lajitteluhalkaisijaa oikeiksi.

Alimittaisten osuuden kasvu sekä testitukkien lajitteluhalkaisijan keskiarvon raju muutos sään viiletessä voi osittain johtua kuorinnasta. Pakkasella tukkien jäätyessä kuorimakoneiden terien kuorintapaineita kasvatetaan. Tämä johtaa helposti latvojen ylikuorintaan, mikä puolestaan näkyy sahan mittarin latvahalkaisijan mittaustuloksissa.

Koemittauksien tuloksista huomattiin, että pituusmitoissa on yksittäisiä eroja eri mittaustapojen ja -laitteiden välillä. Sahan mittarin tuloksia vertaillaessa tukkilajittelun mittarin ja käsin mitattuihin tuloksiin huomattiin, että sahan mittarin pituusmitoissa esiintyi joitakin mittavirheitä. Tukkilajittelun mittarin pituusmittoja voidaan pitää tarkkoina ja luotettavina, sillä kontrollitukkien käsin ja mittarilla mitatuissa pituusmitoissa ei esiinny merkittäviä eroja.

Tuorekäyttösuhteessa ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia automaattisen vuodenajankorjauksen käyttöönoton jälkeen. Vaikka automaattisen vuodenajan korjauksen käyttöönoton jälkeen luokkaan osumisen trendissä lajitteluhalkaisijaltaan alimittaisten tukkien osuus on kasvanut, se ei näy tuorekäyttösuhteen alenemisella. Vertaillaessa vuoden 2020 tuorekäyttösuhdetta vuoden 2021 tuorekäyttösuhteeseen samalla aikavälillä, ei merkittäviä eroja ollut.

9 Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli seurata ja tutkia automaattisen vuodenaajankorjauksen vaikutuksia tukin mittaukseen ja luokkiin osumiseen. Seurannan ja tutkinnan tukena käytettiin tukkilajittelun ja sahan mittausraportteja sekä toteutettiin koemittauksia tukeille. Koemittaukset onnistuivat suunnitelman mukaisesti. Raporteista ja koemittauksista saatiin työn kannalta oleellisia tuloksia automaattisen vuodenaajankorjauksen vaikutuksista tukin mittaukseen ja tukkien luokkiin osumisesta.

Keskeisimpiä tuloksia olivat automaattisen vuodenaajan korjauksen lajitteluhalkaisijan mitaustulokset verrattuna muihin mittauksiin. Tuloksien perusteella automaattinen vuodenaajankorjaus mittasi koemittausten aikaisissa olosuhteissa tukkeja muita mittauksia pienemmiksi sekä tukin kuoren prosentuaalista osuutta isommaksi. Tämä ei kuitenkaan heijastunut tukkien tuorekäyttösuhteeseen.

Koemittauksissa huomattiin, että sahan tukkimittarin pituusmittatuloksissa esiintyi muutamilla tukeilla virheitä. Pituusmittojen virheiden syy tulisi selvittää ja tehdä mahdollisia korjauksia tai kalibrointeja sahan tukkimittarille.

Testitukkiluokkien latvahalkaisijan keskiarvon kehitystä seurattaessa huomattiin, että pakkassää vaikutti merkittävästi tukkiluokan tukkien latvahalkaisijoiden keskiarvon alenemiseen. Tämän työn tulosten pohjalta ei voida varmaksi sanoa, vaikuttaako pakkassää automaattisen vuodenaajankorjauksen toimivuuteen tai luotettavuuteen. Pakkassään johdosta tukit jäätyvät, jolloin kuorinnassa teräpaineita joudutaan nostamaan. Tämä puolestaan voi johtaa latvojen ylikuorintaan, mikä vääristää tukkilajittelun tukkimittarin mittaamaa latvahalkaisijaa.

Jatkotutkimuksissa voisi tehdä koemittauksia jäätyneille tukeille. Jäätyneille tukeille voisi toteuttaa samankaltaisen toistokokeen kuin tässä työssä. Lisäksi mittausraporttien datan kertyessä voidaan nähdä eri sääolosuhteiden vaikutukset tukkiluokan tukkien latvahalkaisijoiden keskiarvon muutoksiin pitkällä aikavälillä. Jatkotutkimuksissa tulisi ottaa huomioon ylikuorinnan mahdollisuus.

Jos ylikuorinnan mahdollisuutta ei voida luotettavasti poistaa tai ottaa huomioon tuloksissa, tulisi tukkilajittelun tukkimittarin mittaustuloksia seurata muualta kuin tukkien latvasta. Toisena jatkotutkimuksena voisi selvittää, mistä tukkimittarin mittaustuloksien luotettavuutta ja oikeellisuutta voidaan mitata.

Koska tuorekäyttösuhteessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia automaattisen vuodenaajankorjauksen käyttöönoton jälkeen, on mahdollista, että uusi mittauslaskentatapa toimisi oikein. Jos oletetaan mittauslaskentatavan toimivan oikein, voidaan tehdä oletus, että uusi

laskenta ennustaa kuorinnasta tapahtuvaa virhettä (ylikuorintaa). Toisin sanoen, eri vuodenaikoina syntyvä systemaattinen mittausvirhe ei johtuisi tukkiröntgenin mittausvirheestä vaan kuorinnassa tapahtuvasta virheestä, jota uusi mittauslaskentatapa korjaisi. Tämän hypoteesin jatkotutkinta hyödyttäisi toimeksiantajayritystä merkittävästi.

Tämän työn pohjalta ei voida tehdä suoraan johtopäätöstä automaattisen vuodenajankorjauksen toimivuudesta, koska käyttöönoton jälkeistä dataa on suhteellisen vähän. Kuitenkin selviä mittauseroja verrattuna vanhaan mittauslaskentaan löytyi koemittauksissa. Koemittautulosten pohjalta voidaan seurata tukkien mittaustulosten ja luokkaan osumisen kehitystä.

Lähteet

Anttila, M. 2021. Tukkilajittelun esimies. Metsä Fibre Oy. Haastattelu 27.9.2021.

Baumgartner, R., Brüchert, F., Staudenmaier, J. & Sauter U H. 2007. Bark Measurements with X-Ray Technology. Viitattu 7.10.2021. Saatavissa https://www.academia.edu/25278528/Bark_Measurements_with_X-Ray_Technology

Brundin, J., Eriksson, G., Fröbel, J., Ivarsson, T., Joki, J., Knuuttila, M. & Lehmonen, M. 2020. Pohjoismainen sahatavara. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kirjakaari Oy.

Heikkilä, A., Holmila, P., Räsänen, R., Usenius, A. & Usenius, T. 2017. Tukkiröntgendata sahapuun ohjauksessa. Metsäteho Oy:n raportti. Viitattu 5.10.2021. Saatavissa https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti_243_Tukkirontgendata_sahapuun_ohjauksessa_tr_ym.pdf

Hujo, S., Hämäläinen, J. & Korpilahti, A. 2006. Puutavaran mittauksen tutkimus- ja kehitys-ohjelma. Helsinki: Metsäteho Oy. Viitattu 26.10.2021. Saatavissa https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_191.pdf

Hyppölä, A., Kärkkäinen, M., Lukkari, J., Lipponen, P., Mäkelä, M., Paananen, S., Rumpunen, H & Thesslund, O. 2004. PUUN LAADUN SÄILYTTÄMINEN. Opas. Helsinki: Käpylä Print Oy. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Puun_laadun_sailyttaminen_opas_SUOMI.pdf

Hämäläinen, J. & Melkas, T. 2012. Puutavaran mittauksen visio 2020. Viitattu 5.10.2021. Saatavissa https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2012_09_Puutavaran_mittauksen_visio_2020_tm_jh.pdf

Limab Oy. 2016. LIMAB 3D PYÖRITYKSEN OPTIMOINTIMITTARI. Manuaali.

Metsä Fibre Oy. Rengon saha. Viitattu 26.10.2021. Saatavissa <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Pages/Rengon-saha.aspx#>

Metsäkeskus. 2021. Tuhot metsissä. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsanhoito-ja-hakkuut/tuhot-metsissa>

Metsän henki. 2019. Oikea katkonta takaa puiden parhaan mahdollisen arvon. UPM Metsän lehti. Nro 4/2019. Viitattu 20.9.2021. Saatavissa https://issuu.com/upmmetsa/docs/metsan_henki_4_2019

Microtec. 2019. Logeye. Viitattu 1.10.2021. Saatavissa <https://microtec.eu/assets/products/logeye/MT-Logeye.pdf>

Puuhuolto 2021. Nippukaavio. Viitattu 26.10.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/kuljetusten-suoritus/nippukaavio/>

Puuhuolto. 2018a. Mittausmenetelmille ja -laitteille asetettavat vaatimukset. Viitattu 17.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/johdanto/mittausmenetelmille-ja-laitteille-asetettavat-vaatimukset/>

Puuhuolto. 2018b. Mittausmenetelmä. Viitattu 20.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/hakkuukonemittaus/mittausmenetelma/>

Puuhuolto. 2018c. Tukkien mittaus sahalla. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/tukkien-mittaus-sahalla/>

Puuhuolto. 2018d. Tukkiröntgenit. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/tukkirontgenit/>

Puuhuolto 2018e. Puuraaka-aineen lahoviat. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/laatu-ja-varastointi/puuraaka-aineen-lahoviat/>

Puuhuolto 2018f. Puutavaran tehdasvastaanotto. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/tehdasmittauksen-ominaispiirteet/puutavaran-tehdasvastaanotto/>

Puuhuolto 2018g. Tarkastusmittaus. Viitattu 4.11.2021. Saatavissa <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/hakkuukonemittaus/tarkastusmittaus/>

Puuproffa. TUKKIPUU. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/puunlaatu/tukkipuu/>

Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2018. HAKKUUKONEEN MITTAUSTARKKUUDEN YLLÄPITO. Viitattu 6.10.2021. Saatavissa https://puuhuolto.fi/omavalvonta/wp-content/uploads/sites/6/2018/10/Suositus_Hakkuukoneen-mittaustarkkuuden-yll%C3%A4pito_12092018.pdf

RemaSawco. 2020. RS-LogProfiler3DX. Viitattu 1.10.2021. Saatavissa <https://remasawco.fi/tuotteet/rs-logprofiler3dx/>

Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus: Mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Helsinki: Yliopistopaino.

Suomen Metsäyhdistys. Leimikko (stand marked for harvesting). Viitattu 17.9.2021. Saatavissa <https://smy.fi/sanasto/leimikko-stand-marked-for-harvesting/>

Suomen Metsäyhdistys. Puutavaralajit (timber grades). Viitattu 17.9.2021. Saatavissa <https://smy.fi/sanasto/puutavaralajit-timber-grades-2/>

TimberVision Oy. 2017. TimberLOG - Käyttöohje Versio 2.2. Viitattu 10.11.2021. Saatavissa <http://www.timbervision.fi/ohjeet.pdf>

Valon kone. Kuorinta sahoilla ja vaneritehtaissa. Viitattu 30.9.2021. Saatavissa <https://valonkone.com/fi/kuorinnan-osaaja/kuorinta-sahoilla-ja-vaneritehtaissa>

Valon kone. Tyvisievennys. Viitattu 30.9.2021. Saatavissa <https://valonkone.com/fi/kuorinnan-osaaja/vk-teknologia/tyvensievennys>

Varis, R. 2017. Sahateollisuus. 2. painos. Jyväskylä: Kirjakaari Oy

Seppänen, J. 2017. Moton tarkastusmittaus ja kouran mittaus tekniikka. Ponsse Scorpion King H7. Youtube-video. Viitattu 20.9.2021. Saatavissa https://www.youtube.com/watch?v=EeDmncDs_Jg

Skog, J. 2009. Combining X-ray and 3D scanning of logs. Viitattu 1.10.2021. Saatavissa <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:989880/FULLTEXT01.pdf>