



**Aalto-yliopisto**  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu

Kemian tekniikan korkeakoulu  
Puunjalostustekniikan tutkinto-ohjelma

Anna Vilkkö

TUKIN PYÖRITYSMITTAREIDEN OPTIMAALINEN HYÖDYNTÄMINEN  
MAKSIMAALLISEN SAANNON TAKAAMISEKSI

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 24.7.2013.

Valvoja

Professori Matti Kairi

Ohjaaja

Diplomi-insinööri Lauri Linkosalmi

Diplomi-insinööri Heikki Ruohonen

---

**Tekijä** Anna Vilkkö

---

**Työn nimi** Tukin pyöritysmittareiden optimaalinen hyödyntäminen parhaan mahdollisen saannon takaamiseksi

---

**Laitos** Puunjalostustekniikan laitos

---

**Professori** Puutekniikka

---

**Professuurikoodi** Puu-28

---

**Työn valvoja** Professori Matti Kairi

---

**Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t)** DI Heikki Ruohonen, DI Lauri Linkosalmi

---

**Päivämäärä** 24.07.2013

---

**Sivumäärä** 60

---

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Diplomityö tehtiin osana puutekniikan diplomi-insinöörin opintoja ja tutkimukset tehtiin UPM-Kymmene Oyj:n sahalla Alholmassa Pietarsaaressa. Tutkimusaiheena oli tukin pyörityksen tarkkuuden tarkistaminen ja laitteiston (Profi-TC) vaikutuksen saantoon todentaminen. Tutkimuksessa tehtiin ensin esikoe, jonka jälkeen suoritettiin varsinainen koe.

Tutkimus koostui kahdesta osasta, jossa tutkittiin mäntytukin pyöritystä. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin viivatestillä Profi-TC:n toimivuutta ja pyöritystarkkuutta. Jälkimmäisessä testissä TC päällä/pois tutkittiin Profi-TC:n vaikutusta sahattavan tukin tilavuussaantoon. Viivatestissä tukin päähän merkittiin viiva, jonka avulla pyörityksen videokuvasta pystyttiin laskemaan todellinen pyörityskulma. TC päällä/pois testillä selvitettiin, miten Profi-TC vaikuttaa sivulautojen saantiin ja miten lautoja on lajitteluvaiheessa katkottu.

Kaikki tulokset ovat indeksoituja, joten ne eivät ole todellisia. Sekä pyöritysvirheet että hajonnat pienenevät verrattaessa esikoetta ja koetta. Pyöritysvirheiden keskiarvojen itseisarvot pienenevät keskimäärin  $0,13^\circ$  ja hajonnat pienenevät keskimäärin  $0,07^\circ$ . TC päällä/pois testissä selvisi, että tämän hetkellä Profi-TC:n tarkkuudella, Profi-TC:n rahallinen merkitys tuhatta valmista sahatavarakuutiota kohden on noin 5–70 €. Näin ollen teoreettisesti Alholman sahausmäärillä Profi-TC:n (laitteen tämän hetkellä tarkkuudella) merkitys on noin 1100–15500 € vuodessa.

---

**Avainsanat** Tukin pyöritys, sahauksen optimointi, sahaus

---

---

**Author** Anna Vilkkö

---

**Title of thesis** Log rotation meters and the optimum recovery to ensure the best possible yield

---

**Department** Department of Forest Products Technology

---

**Professorship** Wood Technology

**Code of professorship** Puu-28

---

**Thesis supervisor** Matti Kairi D.Sc. (Tech.)

---

**Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)** M.Sc. (Tech) Lauri Linkosalmi, M.Sc (Tech.) Heikki Ruohonen

---

**Date** 24.07.2013

**Number of pages** 60

**Language** Finnish

---

### Abstract

This master's thesis was a part of the master studies in Aalto University. This study focused on log turner instruments and it was completed with help from UPM-Kymmene Oyj and Alholma Sawmill. These log turner instruments were supplied by Lisker Oy. The actual research topic was to verify the log rotation accuracy and how the Profi-TC affects the yield. The study was first conducted with a preliminary test and the actual test was completed after that.

The study was conducted in two parts: line test and TC on/off. The line test studied how the actual turning process works and the TC on/off examined how useful the Profi-TC machine is and how it affects to the yield. For the line test, the ends of the logs were marked with a line, which made it possible to measure the rotation angle from the video footage.

All the results are indexed. Comparing the preliminary test and the actual test showed that the rotation errors and dispersion decreased. Rotation errors decreased  $0.13^\circ$  (average) and dispersion decreased  $0.07^\circ$  (average). The study at Alholma showed that when the log turner instrument (Profi-TC) works properly, the yield is better than without it.

---

**Keywords** Log rotation, sawing

---

## ALKULAUSE

Tämä työ on tehty UPM Kymmene Oyj:n toimeksiantona. Mittaukset työtä varten tehtiin UPM Kymmene Oyj:n Alholman sahalla Pietarsaassa.

Kiitokset tämän työn ohjauksesta kuuluvat valvojana toimineelle Professori Matti Kairille (Aalto yliopisto), UPM-Kymmene Oyj:n yhteyshenkilölle DI Heikki Ruohoselle ja DI Lauri Linkosalmelle (Aalto yliopisto).

Kiitos kuuluu myös Alholman sahan henkilökunnalle ja erityisesti sahureille, jotka kärsivällisesti suhtautuivat sahausta hidastaviin mittauksiin ja ylimääräisiin sahauserien vaihtoihin. Kiitokset kuuluvat myös sahauksen suunnittelijalle Juha Santaholmalle, joka tarvittaessa järjesti koe-erien sahaukseen sopivia tukkieriä.

Tämä työ ei olisi ikinä ollut mahdollinen, mikäli avomieheni ei olisi täysin pyyteettömästi toiminut mittausmatkojen aikana yksinhuoltajana Villelle ja Repelle, isoin kiitos kuuluu siis hänelle, joten kiitos tästä mahdollisuudesta. Suuri kiitos kuuluu myös vanhemmilleni, jotka huolehtivat Namusta ja Corneliasta, sekä kiitokset isovanhemmilleni taloudellisesta tuesta.

Espoossa 1.7.2013

Anna Vilkkö

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>ALKULAUSE</b> .....	<b>4</b>
<b>SANASTO</b> .....	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>9</b>
1.1 Tutkimuksen taustaa .....	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	9
1.3 Tutkimuksen rajaukset.....	9
1.4 UPM-Kymmene Oyj, Alholman saha Pietarsaari.....	10
<b>2 SAHATAVARANTUOTANTO</b> .....	<b>11</b>
2.1 Sahatavaran tuotannon vaiheet .....	11
2.2 Sahatavaran saanto .....	12
2.3 Pyöritysvirheen vaikutus sahatavaran saantoon .....	13
<b>3 TUKINPYÖRITYS</b> .....	<b>14</b>
3.1 Tukinpyöritys menetelmät.....	14
3.2 Tukinpyöritys laitteet.....	15
3.2.1 Roottorikäntäjä .....	15
3.2.2 Kallistustelapyörittäjä .....	16
3.2.3 Vertikaalipyörittäjät .....	17
3.3 Tukinpyöritykseen vaikuttavat tekijät .....	18
3.3.1 Pyöritysmittarit ja logiikka .....	18
3.3.2 Tukin geometria .....	18
3.3.3 Pyörittäjän mekaniikka .....	19
3.3.4 Kuljettimet .....	19
3.3.5 Linjanopeus, tukkiluokka ja telepaine.....	20
3.4 Onnistuneen pyörityksen vaikutus tukki kohtaisesti .....	21
<b>4 RAAKA-AINE JA TUTKITTAVAT LAITTEET</b> .....	<b>23</b>
4.1 Mänty materiaalina .....	23
4.2 Tutkittavat laitteet .....	24
4.2.1 Profiscan-1 .....	24
4.2.2 Profi-TC .....	26
4.2.3 Profiscan-2 .....	28
<b>5 TUTKIMUSMENETELMÄT</b> .....	<b>30</b>
5.1 Viivatesti .....	30
5.1.1 Tukin merkintä .....	30
5.1.2 Kuvaus.....	31

5.1.3 Videon käsittely .....	32
5.2 TC päällä/pois testi .....	35
<b>6 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT LASKUKAAVAT .....</b>	<b>36</b>
<b>7 ESIKOKEEN SUORITUS JA TULOKSET .....</b>	<b>37</b>
7.1 Tukkikoko 140mm.....	37
7.2 Tukkikoko 200mm.....	39
7.3 Tukkikoko 300mm.....	41
<b>8 TARVITTAVAT VÄLITOIMENPITEET .....</b>	<b>43</b>
<b>9 TUTKIMUKSEN SUORITUS JA TULOKSET .....</b>	<b>44</b>
9.1 Viivatesti .....	44
9.1.1 Tukkikoko 140mm.....	44
9.1.2 Tukkikoko 200mm.....	46
9.1.3 Tukkikoko 300mm.....	48
9.2 TC päällä/pois testi .....	49
9.2.1 Tukkiluokka 140 .....	49
9.2.2 Tukkiluokka 200 .....	50
9.3 Profiscan-2 .....	51
<b>10 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>53</b>
10.1 Viivatesti .....	53
10.2 TC päällä/pois testi .....	54
<b>11 YHTEENVETO.....</b>	<b>57</b>
<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>59</b>

## SANASTO

KURSO	Puuntyöstöterä
LENKOUS	Tukin tasainen käyryys yhteen suuntaan
LENKOUSLIERIÖ	Muoto, joka lasketaan poikkileikkausviipaleiden keskipistettä käyttäen
PELKKA	Tukki, josta on sahattu tai haketettu kaksi sivua
POIKKILEIKKAUSVIIPALE	Tukista tehty kolmiulotteinen kuva tietyltä ennalta määrätyltä matkalta
PROFISCAN-1	On tukkimittari, joka ohjaa tukinpyöritystä ja pelkkavaiheen sivulautojen optimointia
PROFISCAN-2	Pelkkamittari, joka optimoi sahattavat sivulaudat
PROFI-TC	Lisker Oy: kehittämä reaaliaikainen pyörityksen valvontalaite, joka perustuu pinnan tekstuurianalyysiin
SAANTO	Saatava sahatavara suhteessa raaka-aineeseen
TILAVUUSSAANTO	Saatava sahatavara suhteessa raaka-aineeseen tilavuutena mitattuna

TUKIN OPTIMOINTI

Tukin asemointi optimaaliseen asentoon saannon kannalta ennen sahausta

TUORELAJITTELU

Tuorelajittelussa sahatavara lajitellaan heti sahauksen jälkeen omiin luokkiinsa ennen kuivausta



# 1 JOHDANTO

Tutkimukset tehtiin UPM-Kymmene Oyj:n sahalla Alholmassa Pietarsaassa ja varsinaisena tutkimusaiheena oli tukin pyöryksen optimoiminen parhaan mahdollisen saannon saavuttamiseksi.

## 1.1 Tutkimuksen taustaa

UPM-Kymmene Oyj:n sahalla Pietarsaassa on käytössä kaksi tukinpyörysmittaria (Profiscan-1 sekä Profi-TC) ja yksi pelkkamittari (Profiscan-2), jotka on otettu käyttöön, mutta ei tutkittu tarkemmin kyseisten mittareiden toimivuutta. UPM-Kymmene Oyj halusi myös tietää kuinka laitteista saisi parhaimman mahdollisen saannon ja onko Profi-TC mittari tarpeellinen. Profi-TC on ollut käytössä Alholman sahalla jo vuodesta 2011, mutta sen todellinen hyöty on jäänyt selvittämättä. Mittareiden tarkkuus nopeammilla nopeuksilla haluttiin myös selvittää tarkemmin.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli saada mahdollisimman suuri hyöty jo olemassa olevista tukinpyörysmittareista ja varmistaa niiden toimivuus. Parhaalla mahdollisella hyödyllä pyrittiin saamaan maksimaalinen saanto käytettävissä olevasta mänty raaka-aineesta. Profi-TC:tä on aiemmin tutkittu alle 100m/min nopeuksilla ja haluttiin selvittää sen tarkkuus yli 100m/min.. Työn tutkittavaksi puulajiksi kohteeksi rajautui mänty, siksi että mänty ja kuusi noudattavat samoja lainalaisuuksia pyöryksessä. Alholmassa sahataan myös kuusta ja käytetään niin sanottua jaksosahausta. Jaksosahauksessa on sahattavana raaka-aineena vuoroviikoin mänty ja vuoroviikoin kuusi.

## 1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tässä työssä tutkittiin vain mänty, sillä se on puulajina haasteellisempi pyöritettävä suuremman lenkoutensa takia. Molemmat puulajit, kuusi ja mänty, käyttäytyvät pyöryksessä samankaltaisesti, joten ei ollut tarpeen tutkia molempia puulajeja. Työ rajattiin käsittelemään kahta eri linjanopeutta jokaista sahattavaa tukkiluokkaa kohden. Tukkiluokat rajattiin kolmeen: halkaisijaltaan pieni, keskikokoinen ja suuri tukki.

## 1.4 UPM-Kymmene Oyj, Alholman saha Pietarsaari

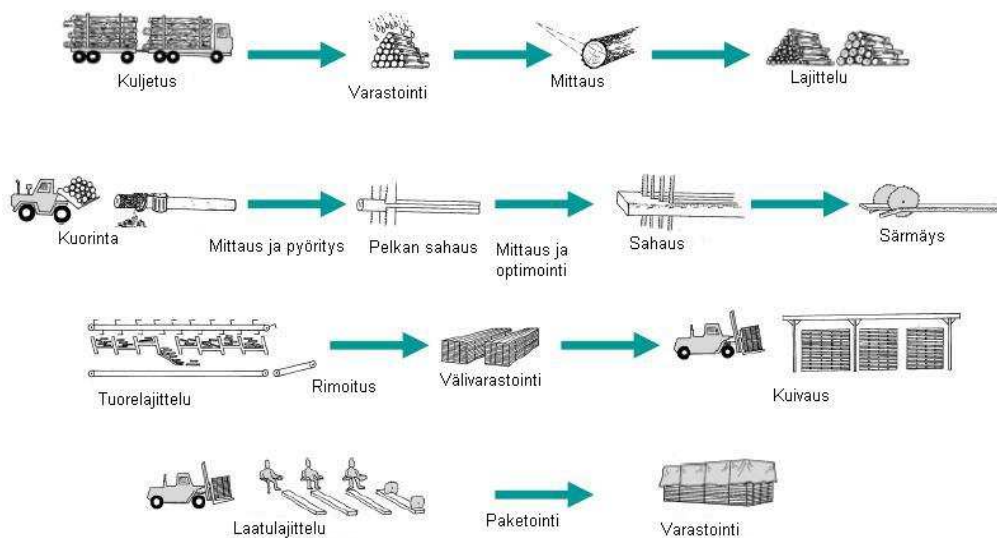
Alholman saha on osa UPM-Kymmene Oyj:tä, joka toimii Pietarsaaressa. Alholman sahalla sahataan kahdessa vuorossa ja työllistää noin 75 henkilöä suoraan, sekä noin 25 työntekijää pyöräliikenteessä eli trukkikuskeja ja pyörökuormaajia. Sahauksen maksimi nopeus on noin 120m/min ja keskimääräinen tuotantomäärä on 1000m<sup>3</sup>/työpäivä, josta muodostuu vuotuiseksi tuotantokapasiteetiksi noin 200 000 m<sup>3</sup>. Samalla tontilla Alholmassa toimii myös UPM-Kymmene Oyj:n sellutehdas, Krafftin bioenergialaitos ja paperitehdas. Kaikki sahalta tulevat sivutuotteet käytetään samalla tontilla hyödyksi. (Ylinampa, 2012)

## 2 SAHATAVARANTUOTANTO

Sahateollisuudella ja sahatavarantuotannolla on pitkät perinteet Suomessa. Suomessa sahateollisuutta on ollut noin viidensadan vuoden ajan, joskin sahaustavat ja tuotanto ovat muuttuneet erittäin tehokkaaksi ja koneistetuksi kuluneen viidensadan vuoden aikana.

### 2.1 Sahatavaran tuotannon vaiheet

Sahausprosessi on monivaiheinen prosessi alkaen puiden kaadosta metsässä ja tukkien kuljetuksesta metsästä sahalle. Kun tukit on kuljetettu sahalle ja varastoitu pinoihin, aloitetaan tukkien lajittelu omiin koko- ja laatuluokkiinsa. Eri tukkiluokkien lukumäärä riippuu pitkälti sahalaitoksesta. Kun tukit on lajiteltu, aloitetaan varsinaiseen sahausprosessiin. Sahausprosessi alkaa tukkien kuorimisella ja mahdollisella kääntämisellä oikeaan sahaussuuntaa. Sahasta ja sahaustavasta riippuen tukki syötetään sahaan joko tyvi tai latva edellä. Joissain tapauksissa, kuten Alholmassa, tukit käännetään jo tukin lajittelun yhteydessä samansuuntaisesti, jolloin tukit ovat valmiiksi tulossa kuorimakoneesta latva edellä. Kun syötetään tukki latva edellä kuorimakoneeseen, rasittaa kuoriminen kuorimakonetta vähemmän, kun paksu tyvi ei tule edellä. Kuvassa yksi on kuvin kerrottuna sahausksen eri vaiheet.



Kuva 1. Sahausprosessin vaiheet (Suomen metsäyhdistys, 1999, muokattu)

Kun tukki on kuorittu ja käännetty oikeaan sahaussuuntaan, mitataan tukin kolmiulotteinen profiili, jotta tukki pystytään syöttämään parhaalla mahdollisella tavalla pelkan sahaukseen. Mittari antaa ohjeen tukinpyörittämälle, jotka pyörittävät tukin optimaaliseen asentoon ja tämän jälkeen tukki syötetään pelkkahakkuriin, jossa kaksi tukin kylkeä suoritetaan. Pelkan sahauksen jälkeen tukista sahataan niin sanotut ykköslaudat kyljistä, joita ei vielä ole sahattu suoraksi. Osassa sahalaitoksissa ykköslautojen särmäys tapahtuu erillisessä särmäyskoneessa ja osassa sahalaitoksissa särmäys suoritetaan samalla, kun ykköslaudat sahataan.

Ykköslautojen sahauksen jälkeen pelkka on lähes kantikas, jonka jälkeen pelkka mitataan erillisellä pelkkamittarilla (Alholmassa Profiscan-2). Pelkkamittari antaa optimointiarvot itse sahakoneelle ja pelkka syötetään tämän jälkeen sahaan. Kun varsinainen sahaus on suoritettu laudat ja lankut tuorelajitellaan sekä rimoitetaan kuivauskuormiksi. Kuivauskuormissa jokaisen lauta kerroksen välissä on tietyllä välijaolla rima, jotta ilma pääsee kuivauksessa kulkemaan lautojen välissä.

Rimoituksen jälkeen kuivauskuormat menevät joko välivarastoon tai jatkavat suoraan kuivaukseen sahalaitoksesta riippuen. Kuivaamotyyppinä on kaksi; jatkuvatoiminen kanavakuivaamo ja kamarikuivaamo. Kanavakuivaamossa kuivauskuormat syötetään sisään kanavan toisesta päästä ja toisesta päästä kanavaa tulevat ulos valmiit kuivat kuivauskuormat. Kanavakuivaamossa kuivauskuormat liikkuvat koko kuivauksen ajan hihnalla hitaasti eteenpäin. Kamarikuivaamo eroaa kanavakuivaamosta siten, että kuivaus tapahtuu erä kerrallaan. Kamari täytetään, jonka jälkeen suoritetaan kuivaus. Kuivauksen valmistuessa ovet avataan ja kamari tyhjennetään. Kuivauksen jälkeen kuiva sahatavara laatulajitellaan ja paketoidaan. Paketoinnin jälkeen paketit tarvittaessa varastoidaan ja lähetetään asiakkaalle tilausten mukaan.

## 2.2 Sahatavaran saanto

Raaka-aine on sahteollisuuden suurin kustannus, joten sen optimaalinen käyttö on erittäin tärkeää. Kuorellisesta tukista saadaan sahatavaraa keskimäärin 45–50% sekä sivutuotteita haketta 28–32%, purua 10–15% ja kuorta 10–12% (Sipi, 2002). Näin ollen sahalaitoksen keskimääräiseksi raaka-ainekäyttösuhteeksi muodostuu noin  $2 \text{ k-m}^3/\text{m}^3$

(kiintokuutiota per valmis sahatavara kuutio) (vaihtelee välillä 1,9-2,4) (Vesanen, 2005). Sahatavaran saantoon vaikuttavat tukin laatu, sahausrako, asetevalinta, kuivauksen taso, prosessihäiriöt ja tukin suuntaus sahakoneeseen.

### 2.3 Pyöritysvirheen vaikutus sahatavaran saantoon

Sahauksen kannalta on erittäin tärkeää, että tukki saadaan pyöritettyä lenkoutensa ja soikeutensa suhteen optimaaliseen asentoon. Paras asento tilavuussaannon kannalta on sellainen, että laudoista tulee mahdollisimman pitkät ja leveät. Pyörityksen onnistumiseen vaikuttavat esimerkiksi tukin heiluminen kuljettimella ja itse mekaaniset pyörityslaitteet, eli ei riitä, että mittaus- ja optimointitulokset olisivat parhaat mahdolliset, jos pyörityslaitteet eivät pysty toteuttamaan pyöritystä oikein. (Vuorilehto, 2004)

Aiemmissä tutkimuksissa (Tulokas ja Vuorilehto, 2005) on havaittu, että parhaiden tukinpyörittäjien tarkkuuden hajonta on noin kahdeksan astetta ja tavanomaisemmalla pyörittäjällä vastaava luku on 15-23°. Pyöritysvirheen keskiarvo suurella tukkimäärällä vaihteli -2 asteen ja +3 asteen välillä. Keskiarvon korjaaminen onnistuu mahdollisella ohjelman korjauskertoimen avulla. Pyörityshajonta sen sijaan on suoraan verrannollinen pyöritysmekaniikan toimivuuteen. Pyörityksen onnistumisella on suuri merkitys sahalle tukista saatava saanto voi heikentyä jopa 10%, jos tukki pyöritetään muuhun kuin lenkouden kannalta parhaaseen asentoon. (Tulokas ja Vuorilehto, 2005)

### 3 TUKINPYÖRITYS

”Tukin optimaalinen pyöritysasento on sellainen, että se mahdollistaa sahauksen, joista kaikkien tukista saatavien sahatavaroiden, hakkeen ja purun nettoarvojen summa on mahdollisimman suuri” (Usenius, 2010). Koska sahateollisuuden yksi suurimmista kustannuksista on raaka-aine kustannukset, on tukinpyörityksellä erittäin merkittävä osa puhuttaessa vaikutuksesta lopullisen sahatavaran hintaan ja siitä saatavaan tuottoon. Tukinpyörityksen tarkoituksena on saada tukista mahdollisimman optimaalinen määrä parasta mahdollista sahatavaraa. Tukinpyörityksessä tukki pyöritetään lenkoutensa suhteen oikeaan asentoon, jotta tukista saadaan mahdollisimman pitkät ja leveät laudat. Yleensä lenkous pyöritetään ylös tai alas. (Vuorilehto, 2004)

Tukinpyörityksen onnistumiseen vaikuttavat monet eri tekijät: Tukinpyöritysmenetelmä, tukinpyöritysmittareiden tarkkuus, tukin keikkuminen kuljettimella, tukin geometrinen muoto sekä tukinpyöritysmekaaninen toiminta. (Vuorilehto, 2004)

#### 3.1 Tukinpyöritys menetelmät

Suomen sahoilla käytetään neljää erilaista tukinpyöritysmenetelmää (Tulokas & Vuorilehto, 2004). Mahdollisena viidentenä menetelmänä voidaan pitää tutkittavan sahan pyöritystä, jossa on kolme eri mittaria yhteistyössä. Tukkimittari, joka mittaa tukin ja määrää pyörityskulman, tukinpyöritysmittari, joka ohjaa pyöritystä ja pelkkamittari, joka valvoo onko sahattu pelkka halutun muotoinen.

Vanhin ja perinteisin menetelmä on niin sanottu käsinpyöritysmenetelmä, jossa sahuri silmämääräisesti hoitaa tukinpyörityksen tukinpyörityslaitteistolla parhaaseen mahdolliseen sahausasentoon. (Tulokas & Vuorilehto, 2004)

Toinen pyöritysmenetelmä on automaattinen tukinpyöritys. Automaattisessa tukinpyörityksessä tukista kerätään optisella mittauksella kolmiulotteinen kuva pyörityksen ohjausta varten. Tietokoneessa tukkikuvaa pyöritetään viiden asteen välein, jolloin kone tutkii joka vaiheessa tukkiin sijoitettujen sahatavarakappaleiden mitat.

Asennossa, jossa sahatavarakappaleet saavat parhaan tuloksen määrittää lopullisen pyörityskulman. (Tulokas & Vuorilehto, 2004)

Kolmantena pyöritysmenetelmänä sahoilla on käsinpyörityksen ja automaattisen pyörityksen yhdistelmä. Kolmannessa menetelmässä sahuri pystyy vielä automaattisen pyörityksen jälkeen korjaamaan pyörityskulmaa (Tulokas & Vuorilehto, 2004)

Neljäs tukinpyöritysmenetelmä on automaattinen pyöritys, joka perustuu pyöritysmittarin ja pelkkamittarin yhteistyöhön. Ensimmäinen mittari mittaa tukin ja antaa pyörityskäskyn tukinpyörittimille ja jälkimmäinen, niin sanottu pelkkamittari, mittaa syntyneen pelkan, jotta voidaan varmistaa oliko pelkka tavoitellun muotoinen. Tavoitteena on, että pelkkamittari havaitsee mahdollisen systemaattisen pyöritysvirheen. Pelkkamittarin optimaalisen toiminnan tavoitteena on se, että se havaitsee virheen esimerkiksi 20 viimeisen tukin perusteella ja antaa käskyn korjata seuraavan tukin pyöritystä ensimmäiselle pyöritysmittarille laskemansa korjauskulma mukaan. Pelkkamittarin avulla pystytään korjaamaan vain pyörityksen keskiarvoa, mutta ei hajontaa sillä hajonta on riippuvainen pyöritysmekaniikan toimivuudesta. (Tulokas & Vuorilehto, 2004)

## 3.2 Tukinpyöritys laitteet

Tukin pyörittämiseen tarvitaan mittareiden lisäksi myös laitteet, jotka tekevät itse mekaanisen pyöritystyön. Tukinpyörittämiä on kolme erilaista tyyppiä: Roottorikäntäjä, kallistustelapyörittäjä ja vertikaalipyörittäjä. Mekaanisilla tukinpyörittimillä on erittäin suuri merkitys tukin pyörityksen onnistumiseen, sillä pyörityksen hajontaa pystytään hallitsemaan vain toimivilla pyörittimillä.

### 3.2.1 Roottorikäntäjä

Roottorikäntäjän (kuvassa kaksi) toiminta perustuu laakereilla liikkuvaan kehään sekä servokäyttöillä varustettuihin vetoteloihin. Vetoteloja voi olla kaksi tai kolme kappaletta. Roottorikäntäjiä käytetään sekä tukinpyörityksessä että pelkan kääntämisessä. Tukinpyörityksessä roottorikäntäjässä on yleensä kolme vetotelaa. Roottoripyörittäjällä päästään yleensä tarkkaan pyöritystulokseen, sillä siinä ei pyöri pelkkä tukki vaan koko

laite kääntyy tukin kanssa. Jotta roottorikäntäjän lopullinen pyöritys on mahdollisimman tarkka, on erittäin tärkeää, että vetotelat ovat kiinni koko pyörityksen ajan. Eli telojen tulee olla kiinni kun pyöritys alkaa ja kiinnityksen tulee pysyä koko pyörityksen ajan. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)



Kuva 2. Roottorikäntäjä (AriVislanda, 2013)

### 3.2.2 Kallistustelapyörittäjä

Kallistustelapyörittäjän teloja kutsutaan usein myös nimellä ”tiltirullat”. Kallistustelapyörittäjä perustuu telapareihin joita voi olla yksi tai kaksi, kuten kuvassa kolme, ja telaparien liike saa aikaan tukin pyörimisen. Pyöritystelat ovat pystyssä molemmin puolin sahalinjaa ja pyöritys alkaa, kun tukki saapuu telaparin väliin ja kestää pyörityskulman vaatiman ajan. Vastapuolilla olevat telat kääntyvät aina vastakkaiseen suuntaa ja tukin pyörimissuunta riippuu telojen kääntymissuunnasta. (Tulokas & Vuorilehto, 2007)





Kuva 3. Tunki pyöryksen jälkeen kallistustelapyörittäjien välissä (Lisker Oy, 2013)

### 3.2.3 Vertikaalipyörittäjät

Vertikaalipyörittäjä (kuva neljä) toimii myös pyöritysteloilla, mutta eritavalla kuin kallistustelapyörittäjä. Vertikaalipyörittäjässä on myös yksi tai kaksi pyöritystela paria, jotka vetävät tunkia. Vertikaalipyörittäjä eroaa kallistustelapyörittäjästä siten, että vertikaalipyörittäjän telat liikkuvat vatsakkaisiin suuntiin pysty akselin suuntaisesti. Tunkin pyörityssuunta riippuu telojen liikesuunnasta ja pyörityskulma riippuu telojen asennosta ja liikkeen ajoituksesta. (Tulokas & Vuorilehto, 2007)



Kuva 4. Vertikaalikääntäjä (AriVislanda, 2013)

### 3.3 Tukinpyörytykseen vaikuttavat tekijät

Tukin pyörytykseen ja erityisesti pyörytyksen onnistumiseen vaikuttavat lukuisat eri tekijät. Tukinpyörytyks on prosessi, joka onnistuakseen vaatii toimivuutta kaikilta osalualueilta. Vaikeutta tukinpyörytykseen lisää se, että jokainen pyörytyksprosessi on erilainen, koska kahta samanlaista tukkia ei ole. Tukinpyörytyksen tulee onnistua pienillä, keskikokoisilla ja suurilla tukeilla, sekä suorilla ja moniväärillä tukeilla. Hyväksyty onnistunut pyörytyks on alueella  $\pm 10^\circ$  tavoite pyörytykskulmasta (Tulokas & Vuorilehto, 2005).

#### 3.3.1 Pyörytyksmittarit ja logiikka

Tukinpyörytyksmittareita on kahdella eri periaatteella toimivia. Toisessa mittaussmenetelmässä käytetään optista varjokuvausta ja toisessa tukin kehän muodon mittausta. Onnistuneen pyörytyksen kannalta on tärkeintä oikea tieto tukin kolmiulotteisesta muodosta, jotta poikkileikkausviipaleiden keskipisteiden avulla laskettujen lenkouslieriöiden ja niiden suuruudet ja suunnat ovat oikeat. Koska pyörytyksmittari päättää vain, kuinka paljon tukin tulee pyöriä, on äärimmäisen tärkeää, että pyörytyksmittari ja logiikka toimivat hyvin yhdessä. Pyörytyksmittari antaa pyörytykskäsken logiikalle, siitä kuinka paljon tukkia pyörytetään, ja logiikalta tieto siirtyy tukinpyöryttimelle. Mikäli tässä komentoketjussa sattuu katkos tai virhe, ei tukki pyöri halutulla tavalla. Nopea ja virheetön tiedonsiirto eri pyörytyksprosessin vaiheiden välillä on todella tärkeää, jotta pyörytyks pystytään tekemään mahdollisimman hyvin ja tehokkaasti. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

#### 3.3.2 Tukin geometria

Tukin oma geometria aiheuttaa omalta osaltaan paljon päänvaivaa tukinpyörytyksessä, sillä kahta muodoltaan identtistä tukkia ei ole. Jokainen pyörytyksprosessikin on tästä johtuen erilainen. Tukkeja on isoista pieneen ja suorista monivääriin. Tukit jaetaan karkeasti kolmeen eri ryhmään. Ensimmäinen ryhmä on selvästi yhteen suuntaan lengot tukit. Selvästi lengoilla tukeilla virheellinen sahausasento alentaa huomattavasti sahatavaran saantoa. Selvästi lengot tukit pyörytetään yleensä joko lenko ylös- tai alaspäin. Koska ensimmäisen ryhmän tukkien sahausasento on helppo tunnistaa, on myös käsittely muita ryhmiä yksinkertaisempaa. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

Toinen tukkir ryhmä on selvästi moneen suuntaan väärät tai muuten monimuotoiset tukit. Moneen suuntaan väärin tukkien sahausasennon tunnistaminen on erittäin hankalaa, koska tämän muotoisilla tukeilla on usein lähes samanarvoisia sahausasentoja ja niiden toisistaan erottaminen on hankalaa. Moniväärin tukkien mekaaninen pyöritystapahtuma on myös hankala tukin muodon ja mahdollisten muiden, kuten kyhmyisyyden, muotovirheiden takia. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

Kolmas tukkir ryhmä on suorat ja sileät tukit, joilla ei ole saannon kannalta suurta merkitystä missä asennossa tukit sahataan. Koska suorilla tukeilla ei ole niin suurta merkitystä, missä asennossa kyseiset tukit syötetään sahaan, jää pyöritysmekaniikan tehtäväksi lähinnä pitää tukki paikoillaan, jottei se pääse heilumaan. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

### 3.3.3 Pyörittäjän mekaniikka

Tukin pyörittäjän mekaniikalla on erittäin suuri merkitys pyörityksen onnistumisen kannalta ja erityisesti sen vaikutus kohdistuu pyörityskulman hajontaan pyörityskulman keskiarvon ympärillä. Jos tukki ei ole kunnolla pyörittimen otteessa tai se pääsee luistamaan pyörityksen aikana tai pyöritys alkaa tai loppuu kun tukki ei ole pyöritystelojen otteessa, syntyy suuriakin pyöritysvirheitä. Pyörityksen onnistumiseksi ja mahdollisimman hyvän saannon takaamiseksi, on hyvällä kunnossa pidolla ja tarkoitukseen sopivalla automaattipyörittäjällä erittäin suuri merkitys. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

### 3.3.4 Kuljettimet

Sahoilla on lukuisia kuljetusvaiheita ja myös tukit liikkuvat kuljettimilla ennen pyöritystä. Ennen pyöritystä tukki mitataan ja siirretään kuljettimella pyöritykseen. Kyseinen siirto tapahtuma saattaa olla ongelmallinen onnistuneen pyörityksen kannalta, koska tukki saattaa heilua mittauksen ja pyörityksen välillä, jolloin tukki ei ole enää samassa asennossa kuin mitatessa ja tukki pyöritetään väärään asentoon. Vaikka pyörittimet toteuttaisivat optimointikäskyn täydellisesti, ei pyöritys kokonaisprosessina ole onnistunut, jos tukki on päässyt heilahtamaan kuljettimella. Tukin heilumiseen kuljettimella vaikuttaa väärän kokoiset kuljetinkourut, jolloin tukki saattaa osua

kouruun ja tämän takia heilahtaa väärään asentoon. Myös kuljettimet, jotka eivät ole yhtenäisiä mittauksen ja pyöriksen välillä, saattavat aiheuttaa tukin pyörähtelyä tukin siirtyessä kuljettimelta toiselle. Itse kuljetinkolan muodolla on merkitystä, sillä joissain tapauksissa osa pyörittäjän mekaniikasta pyöriksen alussa on kulunut tukin irrottamiseen kuljettimesta. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

### 3.3.5 Linjanopeus, tukkiluokka ja telepaine

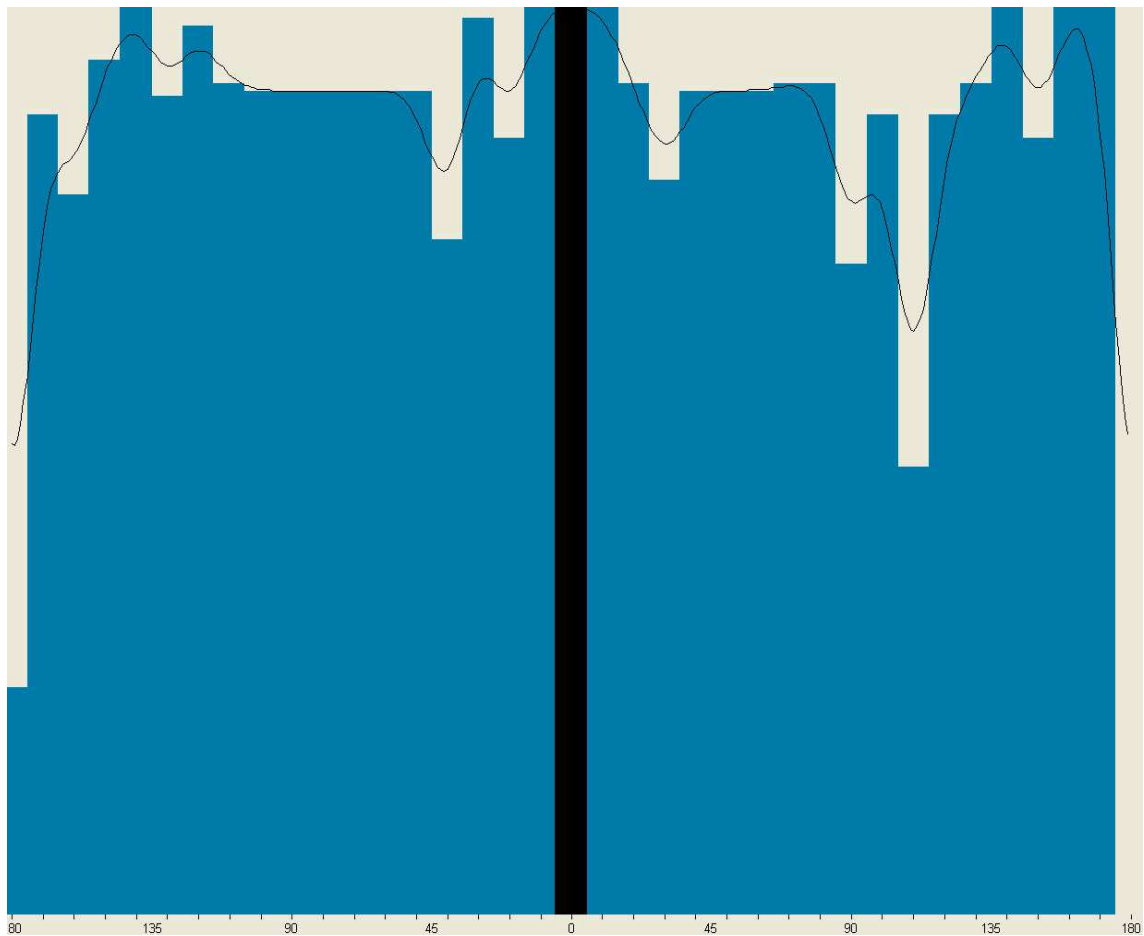
Aiemmat tukinpyöriksen tarkkuuden tutkimukset ovat osoittaneet, että mitä hitaampi on linjanopeus, sitä vakaammin tukki pysyy kuljettimella ja sitä hallitummin pyörittäjä pyörittää tukkia. Linjanopeutta pienentäessä myös pyörikskulman hajonta pienenee. Linjanopeudella ei kuitenkaan ole merkitystä pyörikskulman keskiarvoon. Oikea linjanopeus on tukkiluokka- ja sahaakohtainen, joten optimaalinen nopeus löytyy vain kokeilemalla. (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

Tukkiluokan vaikutusta pyöriksen onnistumiseen on tutkittu useammissa pyörikskokeissa ja niistä on saatu varsin vaihtelevia tuloksia. Yleisimmin suurilla tukkiluokilla on ollut pienempi hajonta verrattaessa pieniin tukkiluokkiin, mutta tuloksia on saatu myös päinvastaisia. Koska suuret tukit sahataan huomattavasti pienemmällä linjanopeudella, on mahdotonta sanoa johtuuko suurempien tukkien pienempi hajonta alhaisemmasta linjanopeudesta vai tukin koosta. Samoilla nopeuksilla sahattujen erikokoisten tukkien kohdalla, jää useimmiten suurempi tukki pyörikseltään vajaaksi, jolloin voidaan todeta, että pyöriksmekaniikka ei jaksaa toteuttaa pyörikskäsäkyä oikein. Aiemmassa tutkimuksessa on havaittu, että pyöriksvirheen keskiarvo pienenee, kun tukkiluokka kasvaa (Kemppinen, 2005). (Tulokas & Vuorilehto, 2005)

Telapaineella tarkoitetaan voimaa, jolla pyöriksstelat puristavat tukkia. Aiemmissa kokeissa on havaittu, että telapaineella on suuri vaikutus pyöriksvirheen keskiarvoon. Telapaineen kohottaminen lisää voimaa, jolla kallistustelat tukkia puristavat, joten voiman ollessa suurempi, ei tukki pääse lipsumaan telojen välissä. Telapainetta ei voi rajattomasti kuitenkaan nostaa, sillä korkeat telapaineet voivat vahingoittaa tukkia, jolloin pyöriksstelojen jäljet voivat näkyä pintalaudoissa. (Kemppinen, 2005)

### 3.4 Onnistuneen pyörityksen vaikutus tukkikohtaisesti

Tukkikohtaisia pyörityskuvaajia (UPM-Kymmene Oyj) verrattaessa on havaittavissa rahallinen saantoa tukkia kohden ja kuinka pyörityksen onnistuminen vaikuttaa tähän. Tutkittavat pyöritys kuvaajat olivat tukkiluokasta 195 AB ja läpimitaltaan tukit olivat 197–207mm. Kyseiset tukkikohtaiset kuvaajat on otettu sahauksen yhteydessä, joka rajoitti saatavien kuvaajien määrää. Kuvassa 31 on havaittavissa kuinka pyörityskulma vaikuttaa saantoon. Kuvassa 31 on mustalla merkitty tavoitekulma.



Kuva 5. Tukkikohtainen arvosaanto pyörityksen suhteen (UPM-Kymmene Oyj, 2013)

Taulukko 1. Tukkikohtaiset arvonalenemiset max ja min pyöritystuloksen välillä

	Erotus (max-min)€	rahallinen menetys prosentteina
Tukki 1	3,47 €	11,20 %
Tukki 2	1,33 €	4,83 %
Tukki 3	1,85 €	6,81 %
Tukki 4	1,24 €	3,97 %
Tukki 5	1,40 €	4,78 %
Tukki 6	0,70 €	2,90 %
Tukki 7	0,85 €	2,39 %
Tukki 8	0,83 €	2,81 %
Tukki 9	1,60 €	5,63 %
Tukki 10	1,03 €	3,04 %
Tukki 11	1,13 €	3,68 %
Tukki12	2,79 €	9,69 %
Tukki 13	2,51 €	9,92 %
Tukki 14	1,24 €	5,25 %
Tukki 15	1,00 €	4,20 %
Tukki 16	1,05 €	3,00 %
Tukki 17	0,55 €	2,12 %
Tukki 18	0,91 €	2,77 %

Taulukosta yksi saadaan laskettua keskimääräinen erotus parhaimman ja huonoimman tuoton välille, joka on 1,42 € ja 4,94 %.

## 4 RAAKA-AINE JA TUTKITTAVAT LAITTEET

Raaka-aineena tämän diplomityön tutkimuksessa käytettiin mäntytukkia ja tutkittavia laitteita olivat Alholman sahalla käytettävät tukinpyöritysmittarit. Tukinpyöritysmittareita Alholmassa on kaksi ja yksi pelkkamittari. Ensimmäinen mittari mittaa pyöritettävän tukin, toinen mittari valvoo pyöritystä ja pelkkamittari tarkistaa syntyneen pelkan muodon.

### 4.1 Mänty materiaalina

Diplomityön tutkittavaksi materiaaliksi rajautui heti työn alussa mänty (*Pinus sylvestris*) sen paremman rahallisen tuoton takia. Mäntytukit ovat usein myös huomattavasti lengompia kuin kuusitukit, jolloin on erittäin tärkeää, että pyöritys tapahtuu oikein. Mäntyvaltaisia metsiä on Suomen metsäpinta-alasta 65 %, joten myös raaka-ainetta on hyvin Suomessa saatavilla. (Fagerstedt, K. Pellinen, K. Saarenpää, P. Timonen, T 2004).

Männyn kuiva-tuoretiheys on  $420 \text{ kg/m}^3$ , joka on hieman suurempi kuin kuusella. Männyllä on väriltään selvästi erotettava sydän- ja pintapuu sekä pintapuu on melko paksu. Männyn sydänpuu on väriltään kaadettaessa vaalea, mutta tummuu auringonvalon vaikutuksesta melko nopeasti pintapuuta tummemmaksi. Männyn sydänpuun väriin vaikuttaa kuitenkin myös kasvupaikka, sillä esimerkiksi pohjoisessa hitaasti kasvaneen männyn sydänpuu on väriltään punaruskeaa. Männyn kesäpuu erottuu myös muusta puuaineksesta tummanvärinsä ansiosta ja kevätpuusta ja kesäpuuksi vaihtumisvyöhyke on melkoisen jyrkkä. Tämän takia männyssä on erittäin helposti erottuvat vuosilustot. (Fagerstedt, K. Pellinen, K. Saarenpää, P. Timonen, T 2004)

Männyn pintapulla ja sydänpuulla on myös erilaiset kosteusominaisuudet. Sydänpuu on huomattavasti kuivempaa kuin pintapuu. Puunrunгон sisäiset kosteuserot ja suhteellisen nopea kuivuminen on otettava huomioon varsinkin keinokuivattaessa mäntylankkuja. Mänty saattaa myös kieroilla ja halkeilla kuivuessaan. Puuaines männyllä on myös melko suorasyistä ja karkeaa. Kuivuessaan mänty kutistuu seuraavalla tavalla: pituus

suunnassa 0,4%, säteen suunnassa 3,7% ja tangentin suunnassa 7,8%. (Fagerstedt, K. Pellinen, K. Saarenpää, P. Timonen, T 2004)

## 4.2 Tutkittavat laitteet

Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri Lisker Oy:n valmistamaa tukinpyörytyksessä ja optimoinnissa käytettävää mittauslaitetta, jotka olivat myös tämän diplomityön tutkimuskohteita.

### 4.2.1 Profiscan-1

Profiscan-1 mittaria käytetään tukin pyörytyksen ohjaamiseen ja pelkkavaiheen sivulautojen optimointiin. Profiscan-1 tuottaa tukista kolmiulotteisen mallin kolmea laseria hyväksikäyttäen. Kolmiulotteisen mallin perusteella lasketaan tukin lenkous ja lenkouden suunta. Lenkouden ja lenkouden suunnan perusteella määräytyy tehtävä tukin pyörytys. (Lisker Oy, 2013)

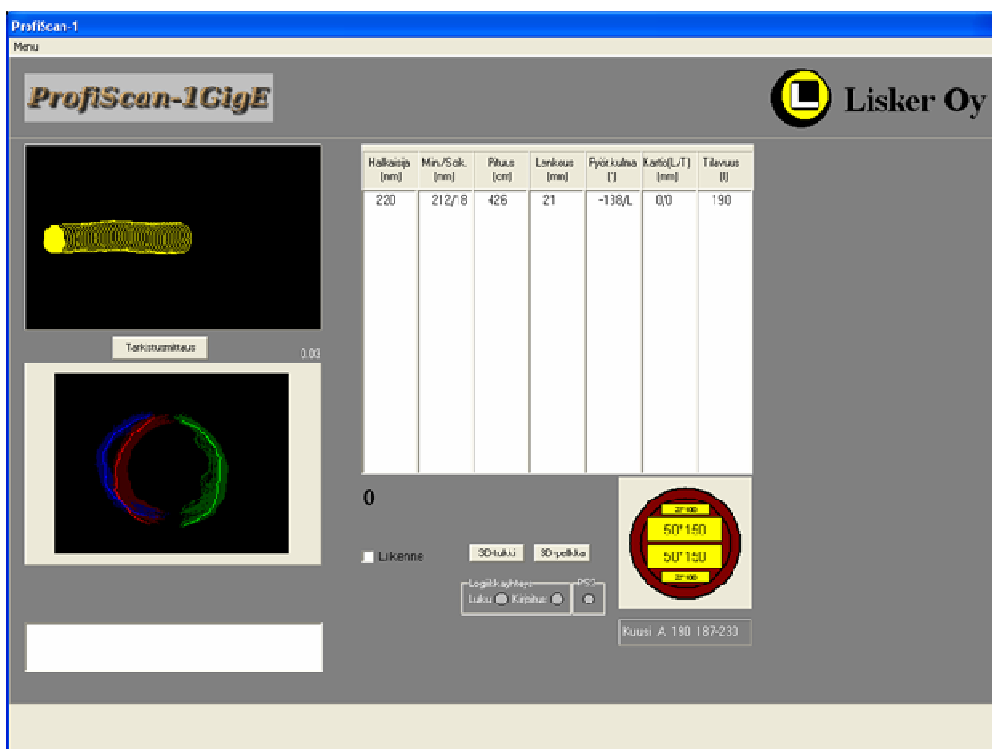
Mittaustilassa Profiscan-1 mittarin ohjelma lukee jatkuvasti valokennotietoa. Tukkia mitataan aina silloin, kun tukkikuljetin liikkuu eteenpäin ja valokennotiedon mukaan tukki on mittauskohdassa. Tukin mittauksen jälkeen ohjelma lähettää pyörytyksen ohjausarvot verkkoyhteyden kautta logiikalle. (Lisker Oy, 2011)

Profiscan-1 antaa aina sellaisen pyörytyskäskyn, että pyörytys tapahtuu lyhyemmän pyörytyssuunnan kautta (myötä- tai vastapäivään). Näin ollen yli 180 asteen pyörytyksiä ei tulisi olla ollenkaan. Kuvassa kuusi on nähtävissä, kun tukki on Profiscan-1:ssä mitattavana ja kuvassa seitsemän tukin kolmiulotteinen malli mittarin näytöllä.





Kuva 6. Tukki mittauksessa Profiscan-1:ssä



Kuva 7. Profiscan-1:n mittauksen aikainen näkymä näytöllä (Lisker Oy, 2011)

#### 4.2.2 Profi-TC

Profi-TC on Lisker Oy:n kehittämä uuden tyyppinen reaaliaikainen tukinpyöritystä ohjaava laite, jonka toiminta perustuu pinnan tekstuurianalyysiin. Profi-TC:ssä on matriisikamera, joka kuvaa kameran alta liikkuvan tukin pintaa. Kamera tarvitsee hyvän valaistuksen, jotta se pystyy kuvaamaan tukin pintaa riittävän tarkasti. Kuvissa kahdeksan ja yhdeksän näkyy hyvin Profi-TC:n valot ja itse kamera on laitteessa ylhäällä.

Profi-TC:n mittaustilassa laitteen ohjelma kuvaa tukin pintaa ja määrittää kuvauksen perusteella pyörityskulmaa ja ohjaa pyörityksen lopetushetken logiikalle (Lisker Oy, 2011). Profi-TC:n tehtävä on valvoa, että pyöritys tapahtuu halutulla tavalla ja antaa mahdollinen lopetus käsky logiikalle tai tarvittaessa käskää jatkamaan pyöritystä aiottua pidempään, mikäli tukki ei ole vielä pyörinyt riittävästi.

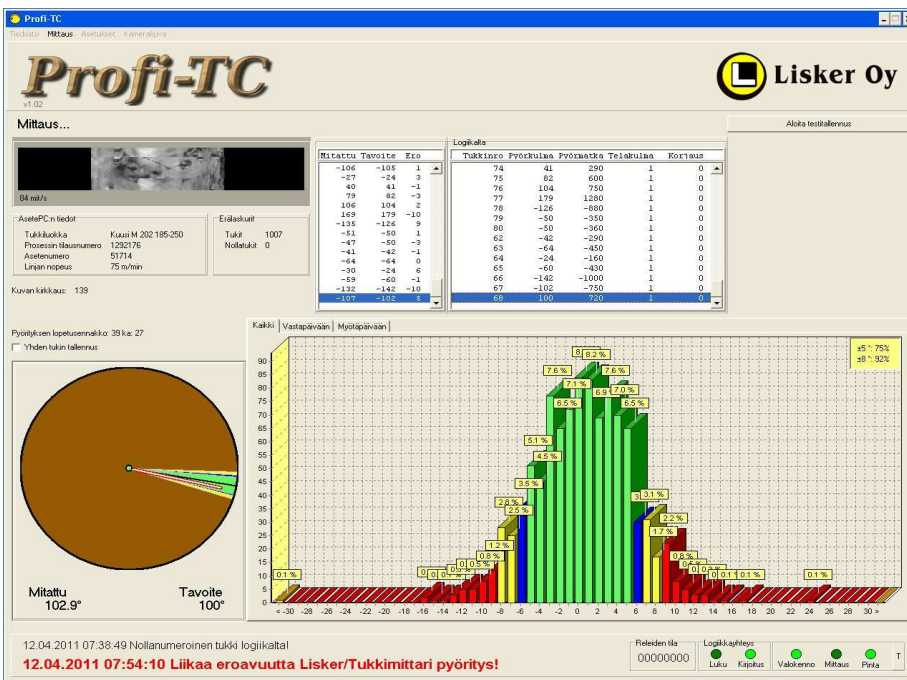


Kuva 8. Profi-TC tukin tulosuunnasta nähden



Kuva 9. Profi-TC tukin menosuunnasta nähtynä

Kuvassa kymmenen näkyy millaista grafiikkaa Profi-TC tekee näytölle. Kuvasta on havaittavissa tavoitepyörityskulma, toteutunut pyörityskulma ja jo toteutuneiden pyöritysten hajonta ja onnistuminen. Mittauksen aikana näytöllä näkyy myös reaaliaikaista kuvaa tukin pinnasta, jonka perusteella toteutunut pyörityskulma lasketaan.



Kuva 10. Mittauksen aikainen näkymä Profi-TC:n näytöllä (Lisker Oy, 2011)

Lisker Oy:n mukaan Profi-TC:n tulisi poistaa pyöritysvirheet ja näin parantaa saantoa. Laitteen tulisi pystyä 90%:n tarkkuudella pyörittämään  $\pm 10^\circ$  tavoite kulmasta. Myös saannon tulisi parantua 0,5–1% riippuen lähtötilanteesta. Tarvittaessa voidaan Profi-TC:tä käyttää myös kunnossapidon työkaluna. (Lisker Oy, 2013)

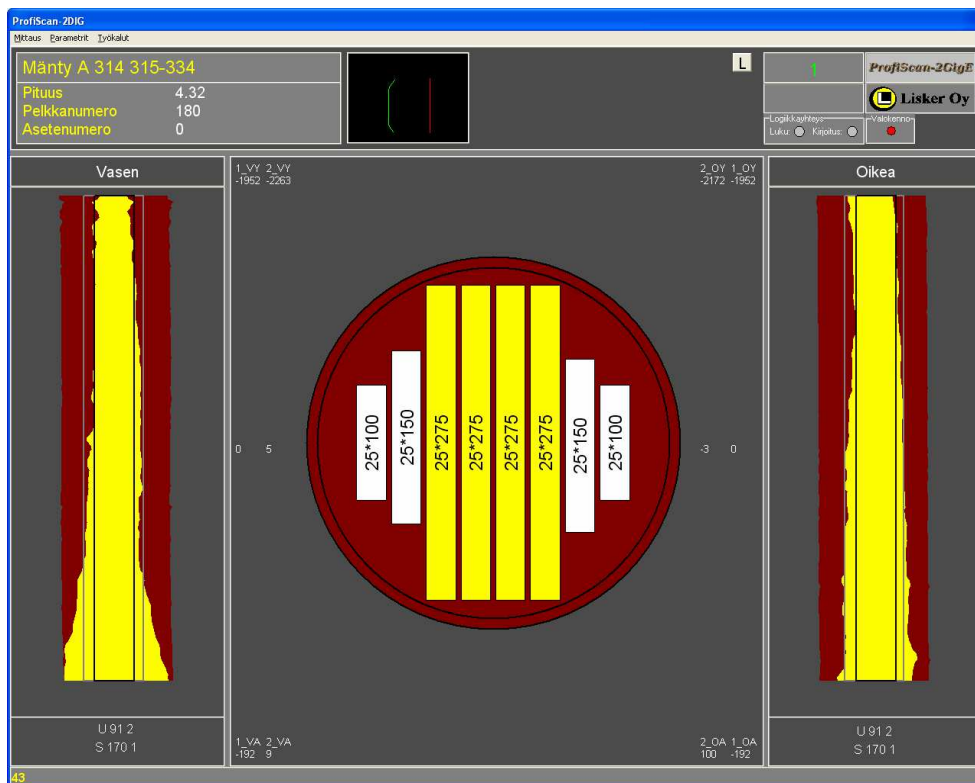
#### 4.2.3 Profiscan-2

Profiscan-2 on mittari sivulautojen optimointiin. Profiscan-2:n järjestelmä optimoi sivulautojen leveydet ja korkeusasemat. Optimointi suoritetaan kahden kamera/laser parin avulla pelkan kahdelle sivulle. Mittari mittaa myös, onko pelkka ollut halutun muotoinen. Kuvassa yksitoista on havaittavissa Profiscan-2 linjastoon asennettuna. Kiinteään ajomalliin verrattuna Profiscan-2 optimoinnilla voidaan saavuttaa jopa yli 10% tilavuussaannon parannus sivulautojen osalta (Lisker Oy, 2013)



Kuva 11. Profiscan-2

Pelkkamittari suorittaa mittauksia aina, kun kuljetin käy ja pelkka on mittavalojen mukaan mittauskohdassa. Pelkan mittauksen jälkeen ohjelma suorittaa optimoinnin ja lähettää ohjaustiedon kursoja ohjaavalle logiikalle. Kuvassa kaksitoista tukki piirretään ruskeana ympyränä ja musta ympyrä on kyseisen tukkiluokan alaraja. Asete piirretään tukin poikkileikkauksen päälle siten, että lautojen paikat ja leveydet muuttuvat pelkkakohtaisesti. (Lisker Oy, 2011)



Kuva 12. Mittauksen aikainen kuva profiscan-2:n näytöltä

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Diplomityön varsinainen tutkimus koostui kahdesta eri osasta. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin niin sanotulla viivatestillä Profi-TC:n toimivuutta ja pyöritystarkkuutta. Jälkimmäisessä testissä TC päällä/pois tutkittiin Profi-TC:n vaikutusta sahattavan tukin tilavuussaantoon. Ensin tehtiin esikoe, sen jälkeen korjattiin havaitut puutteet ja tehtiin varsinaiset koesahaukset. Koesahauksissa tehtiin sekä viivatesti että TC päällä/pois testi. Viivatestissä sahausnopeutena käytettiin myös kahta eri nopeutta: sekä hyväksi havaittua nopeutta että hieman korkeampaa nopeutta.

### 5.1 Viivatesti

Viivatestin tarkoituksena oli tutkia pyöritetäänkö tukkia se määrä, jonka Profi-TC ilmoittaa. Testi suoritettiin kuvaamalla tukkeja ennen ja jälkeen pyöriksen samalla digitaalivideokameralla. Koska Alholman sahalla sahataan latva edellä, asetettiin tutkittavien tukkien tyvipäähän niiteillä paperi, johon oli tulostettu tumma viiva.

Viivatestissä kuvattavien tukkien määrä oli noin 30–40 tutkittavaa tukkia tukkiluokkaa ja nopeutta kohden. Sekä sulia että jäisiä tukkuja kuvattiin kolmesta eri tukkiluokasta: pienet tukit, keskikokoiset ja suuret tukit. Tämän lisäksi jokainen ryhmä jaettiin kahtia, jotta kahden eri nopeuden testaaminen oli mahdollista. Kaikista kolmesta eri luokasta kuvattiin näin ollen noin 60–80:ntä tukkia.

#### 5.1.1 Tukin merkintä

Paperit nidottiin vasta kuorinnan jälkeen juuri ennen profiscan-1 mittaria, jotta paperit pysyisivät paikallaan mittaukseen asti. Kuvassa kolmetoista on nähtävissä miten paperi on kiinnitetty tukin tyvipäähän



Kuva 13. Tukkeja, joiden päihin on nidottu laput tukkipöydällä

Testissä päädyttiin käyttämään paperia, johon on tulostettu viiva, siitä syystä, että viiva erottuu riittävästi taustastaan videokuvassa. Aiemmissä vastaavanlaisissa mittaustesteissä on havaittu, että esimerkiksi spray maalin käyttäminen viivan merkkaukseen, ei ole riittävän tarkkareunainen, jotta kuvista pystyttäisiin laskemaan toteutuneet pyörityskulma (Linkosalmi, 2009).

### 5.1.2 Kuvaus

Alholman sahalla oli jo aiemmista kuvauksista valmiina kamerateline, joka voitiin asentaa kiinni tukkikuljettimen reunaan. Kamera asennettiin linjastoon siten, että tuikin alkuasento ennen pyöritystä ja tuikin loppuasento pyörityksen jälkeen oli mahdollista kuvata yhdellä kameralla. Kamera asennettiin linjastoon kuvan neljätöistä ja viisitoista osoittamalla tavalla



Kuva 14. Viivatestin koejärjestelyä



Kuva 15. Viivatestissä käytetty kamera linjalle asennettuna

### 5.1.3 Videon käsittely

Videosta eroteltiin pysäytyskuvat kullekin tutkittavalle tukille sekä alkutilanteesta (kuva 16) että lopputilanteesta (kuva 17). Vertauskuvat asetettiin PhotoShop-ohjelmalla päällekkäin kuvan 18 tavalla ja avattiin uudestaan AutoCad-ohjelmalla ja ohjelman avulla laskettiin todellinen pyörityskulma päällekkäin asetetuista kuvista kuvan 19 mukaan. Lopuksi todellista pyörityskulmaa verrattiin Profi-TC:n antamaan



pyörityskulmaan. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että edellä mainittu mittausmenetelmä on tarkkuudeltaan ohjelmalla tehtyä mittausta vastaava (Linkosalmi, 2009).



Kuva 16. Tukki ennen pyöritystä

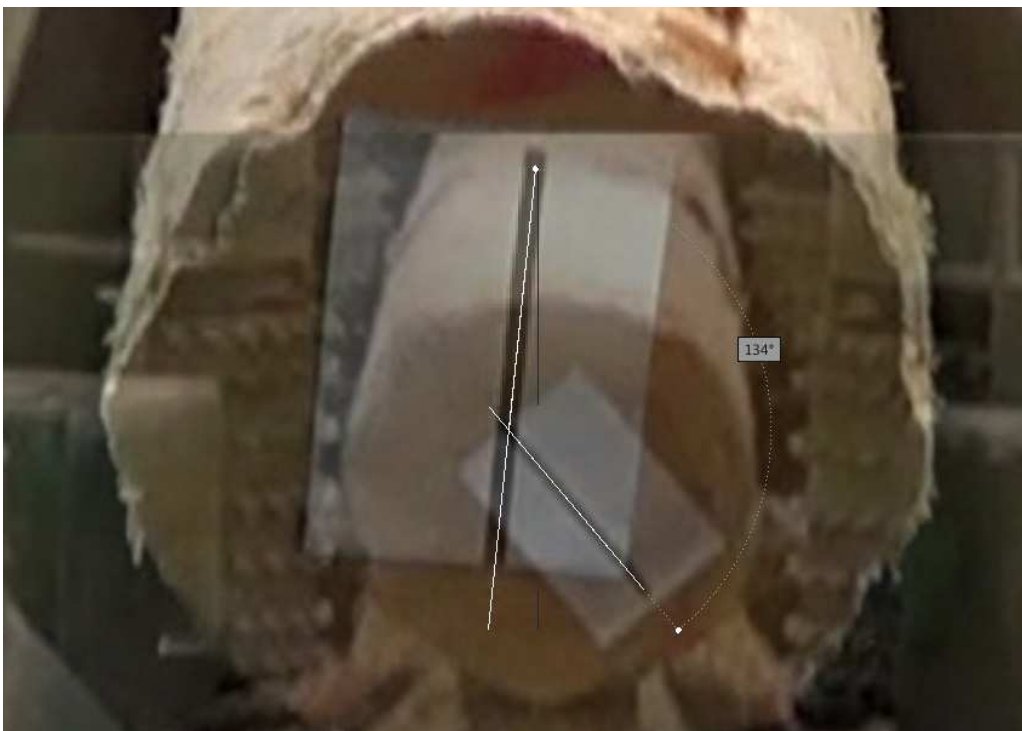
Kuvan 16:sta tukkia pyöritetään myötäpäivään ja tukin asento pyörityksen jälkeen on nähtävissä kuvassa 17:sta.



Kuva 17. Tukki pyörityksen jälkeen



Kuva 18. Aloitus- ja lopetuskuva asetettuna päällekkäin PhotoShopissa



Kuva 19. Kulman mittaus AutoCadillä.

## 5.2 TC päällä/pois testi

TC päällä/pois testillä oli tarkoitus selvittää, miten Profi-TC vaikuttaa sivulautojen saantiin ja miten lautoja on lajitteluvaiheessa katkottu. Päälle/pois testi suoritettiin sulilla tukeilla kahdesta eri tukkiluokassa. Ensin tukkiluokasta sahattiin noin puolet Profi-TC päällä, jonka jälkeen sahauksen eränumero vaihdettiin ja Profi-TC kytkettiin pois päältä. Eränumeron vaihdon yhteydessä ei tehty mitään muutoksia sahausasetteeseen, joten ainut muutos, joka tehtiin, oli Profi-TC:n pois päältä kytkentä. Eränumeron vaihto testin aikana oli välttämätöntä, jotta tuorelajittelun raportit pystyttiin kohdentamaan oikeaan erään.

TC päällä/pois sahauserien jälkeen tulostettiin tuorelajittelijan raportit kyseisille sahauserille, jotta saatiin prosentuaaliset tulokset sille, että kuinka paljon sivulautoja on vajaasärmäisyyden takia jouduttu katkomaan lajittelun yhteydessä. Katkontaprocentin avulla pystyttiin laskemaan kuinka suuri vaikutus Profi-TC:llä on sivulautasaantoon.

## 6 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT LASKUKAAVAT

Tukinpyörityksen onnistumista pystytään todentamaan seuraavilla kolmella tunnusluvulla: pyöritysvirhe, pyöritysvirheen keskiarvo ja pyörityskulman hajonta.

Pyöritysvirhe laskettiin seuraavasta kaavasta:

$$\Delta = |Ra_{tot}| - |Ra_{op}|, \text{ jossa}$$

$Ra_{tot}$  on toteutunut kulma

$Ra_{op}$  on optimaalinen kulma

Lopuksi itse pyöritysvirheen tuloksesta otettiin vielä itseisarvo, jotta positiiviset ja negatiiviset pyöritysvirheet eivät kumoaisi toisiaan.

Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo laskettiin seuraavasta kaavasta:

$$X = 1/n * \sum \Delta, \text{ jossa}$$

$n$  on tukkien lukumäärä

Pyörityskulman hajonta laskettiin seuraavasta kaavasta:

$$S = \sqrt{(1/(n-1)) * \sum (\Delta - X)^2}$$

Kaikki kolme laskutoimitusta tehtiin vertaamalla seuraavia pyöritystuloksia: Profi-TC:n tulos verrattuna pyöritysohjeeseen; Todellinen pyörityskulma videosta verrattuna pyöritysohjeeseen ja todellinen pyörityskulma videosta verrattuna Profi-TC:n tulokseen.

## 7 ESIKOEEN SUORITUS JA TULOKSET

Koska Alholman sahalla ei ollut koskaan varsinaisesti tutkittu tukkimittareiden toimivuutta Profi-TC:n asennuksen jälkeen, tehtiin sahalla ennen varsinaista koetta esikoe, jotta saatiin selville kuinka pyöritys toimii. Sahalla tehdyssä pyörityksen tarkkuuden tutkimuksen esikokeessa tutkittiin jäisiä mäntytukkeja seuraavissa tukkiluokissa: 140mm, 200mm ja 300mm. Kaikista tukkiluokista tutkittiin pyöritystä kahdella eri linjanopeudella. Esikoeajot suoritettiin Alholmassa viikoilla 8 ja 12 (2013). Taulukoiden 2-7 luvut on laskettu siten, että jokaisesta yksittäisestä pyöritysvirheestä on otettu itseisarvo, josta on laskettu pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo ja hajonta.

- TC-Ohje = Profi-TC:n mittaamasta arvosta vähennetty pyöritysohje.
- Todellinen-Ohje = videokuvaalta mitatusta kulmasta vähennetty pyöritysohje
- Todellinen-TC = videokuvaalta mitatusta kulmasta vähennetty Profi-TC:n mittaama kulma.

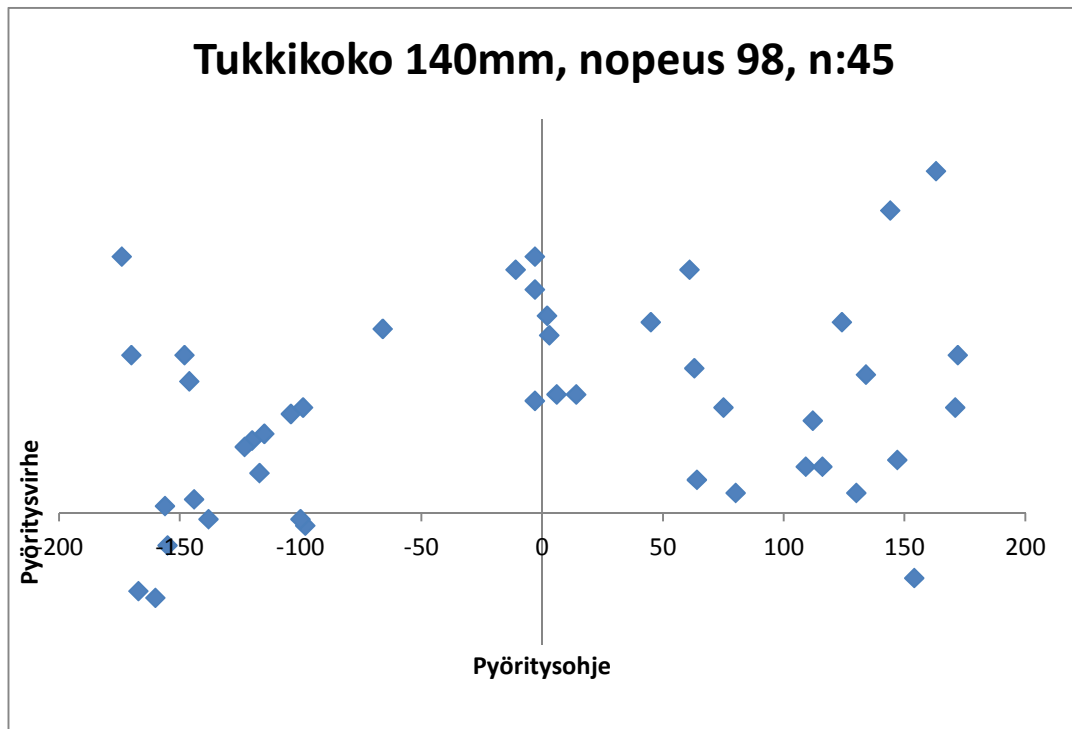
Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten tulokset eivät ole todellisia.

### 7.1 Tukkip koko 140mm

Tukkiluokassa 140mm tukkeja sahattiin linjanopeuksilla 98m/min ja 110m/min. Otoserien suuruudet olivat nopeudella 98m/min 45 ja nopeudella 110m/min 45 kuvattua tukkia. Pyörityksen tarkkuuden tutkimista on havainnollistettu lasketuilla tukinpyörityksen tunnusluvuilla (taulukko 2. ja taulukko 3.) sekä yhdellä kuvaajalla molemmilla linjanopeuksilla. Kuvaajissa (Kuva 20. ja Kuva 21.) on havainnollistettu Pyöritysohjeen kulman ja tapahtuvan videokuvaalta mitatun pyöritysvirheen suhdetta.

Taulukko 2. Tukinpyörityksen tunnusluvut 140mm tukki ja linjanopeus 98m/min

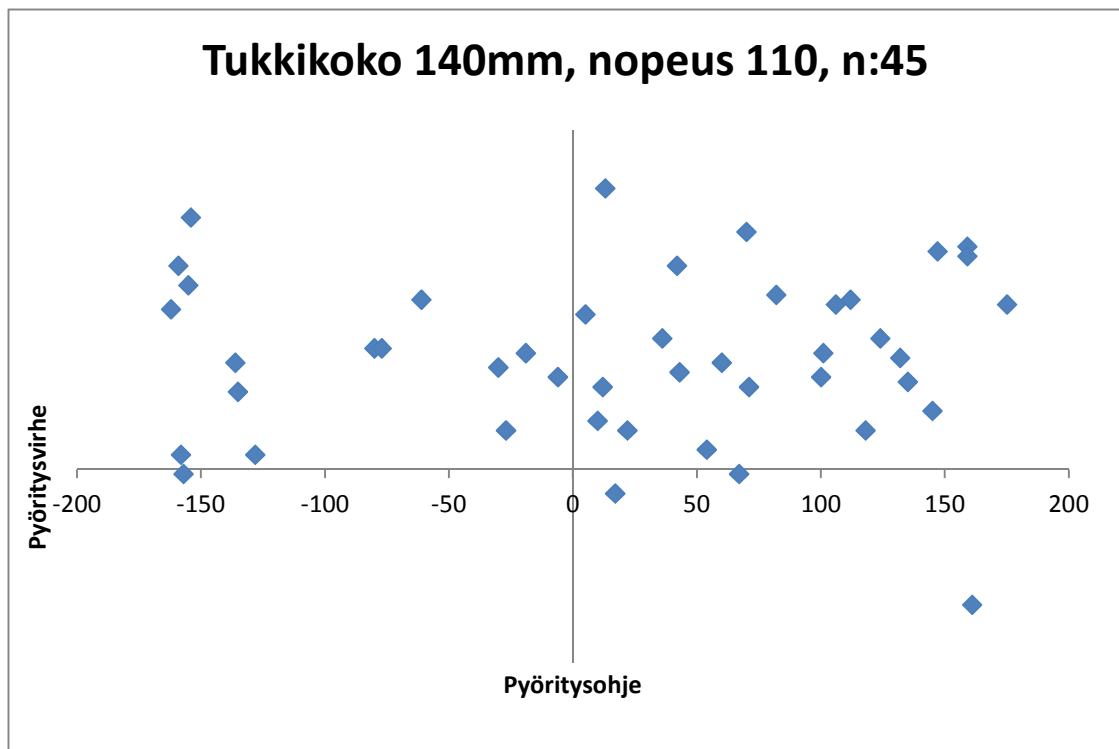
	TC-Ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,22°	0,57°	0,49°
Hajonta	0,20°	0,41°	0,38°



Kuva 20. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

Taulukko 3. Tukinpyörityksen tunnusluvut 140mm tukki ja linjanopeus 110m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,30°	0,78°	0,70°
Hajonta	0,20°	0,46°	0,54°



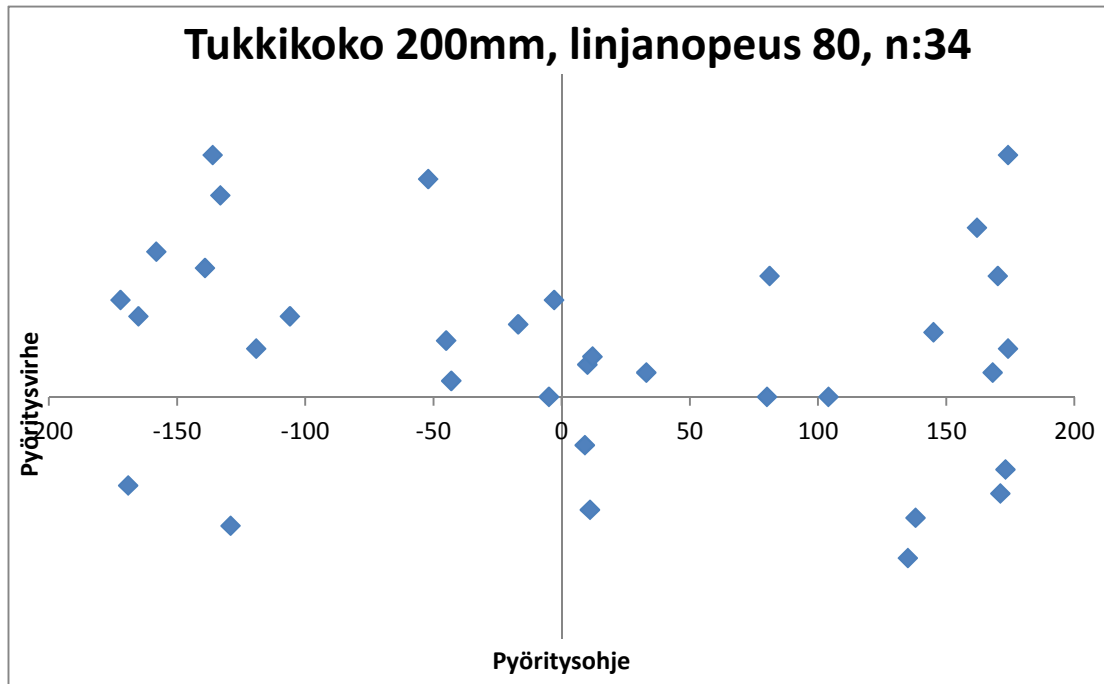
Kuva 21. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

## 7.2 Tukkikoko 200mm

Tukkiluokassa 200mm tukkeja sahattiin linjanopeuksilla 80m/min ja 90m/min. Otoserien suuruudet olivat nopeudella 80m/min 34 ja nopeudella 90m/min 30 kuvattua tukkia. Pyörityksen tarkkuuden tutkimista on havainnollistettu lasketuilla tukinpyörityksen tunnusluvuilla (taulukko 4. ja taulukko 5.) sekä yhdellä kuvaajalla molemmilla linjanopeuksilla. Kuvaajissa (Kuva 22. ja Kuva 23.) on havainnollistettu Pyöritysohjeen kulman ja tapahtuvan videokuvaalta mitatun pyöritysvirheen suhdetta.

Taulukko 4. Tukinpyörityksen tunnusluvut 200mm tukki ja linjanopeus 80m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,13°	0,36°	0,34°
Hajonta	0,11°	0,26°	0,27°

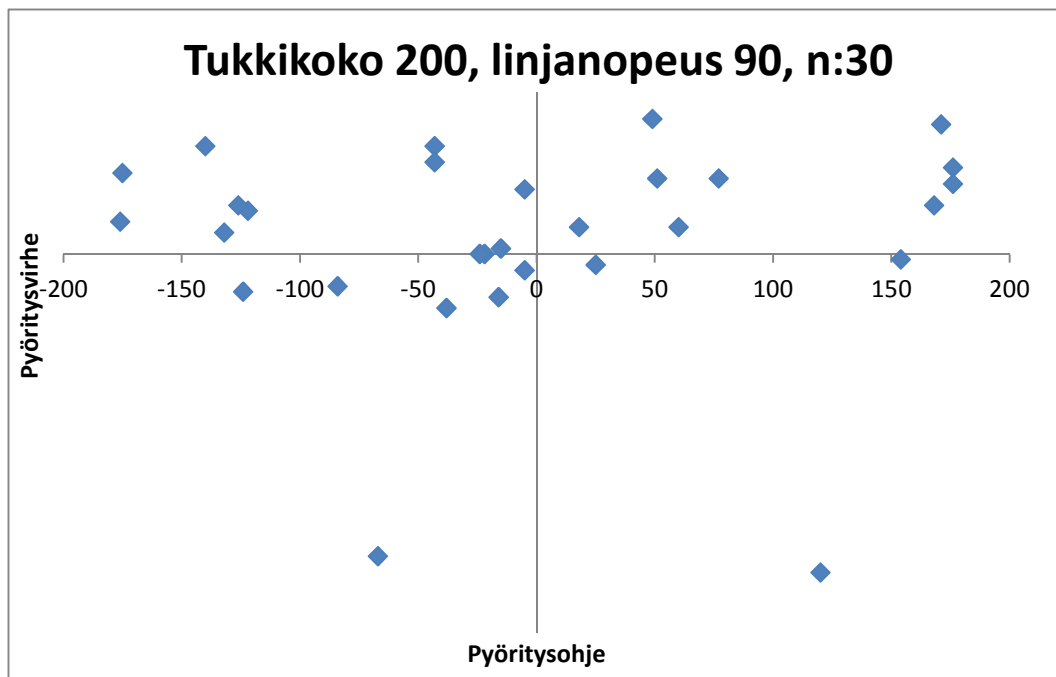


Kuva 22. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

Taulukko 5. Tukiinpyörityksen tunnusluvut 200mm tukki ja linjanopeus 90m/min

	TC-Ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,25°	0,41°	0,28°
Hajonta	0,43°	0,44°	0,20°





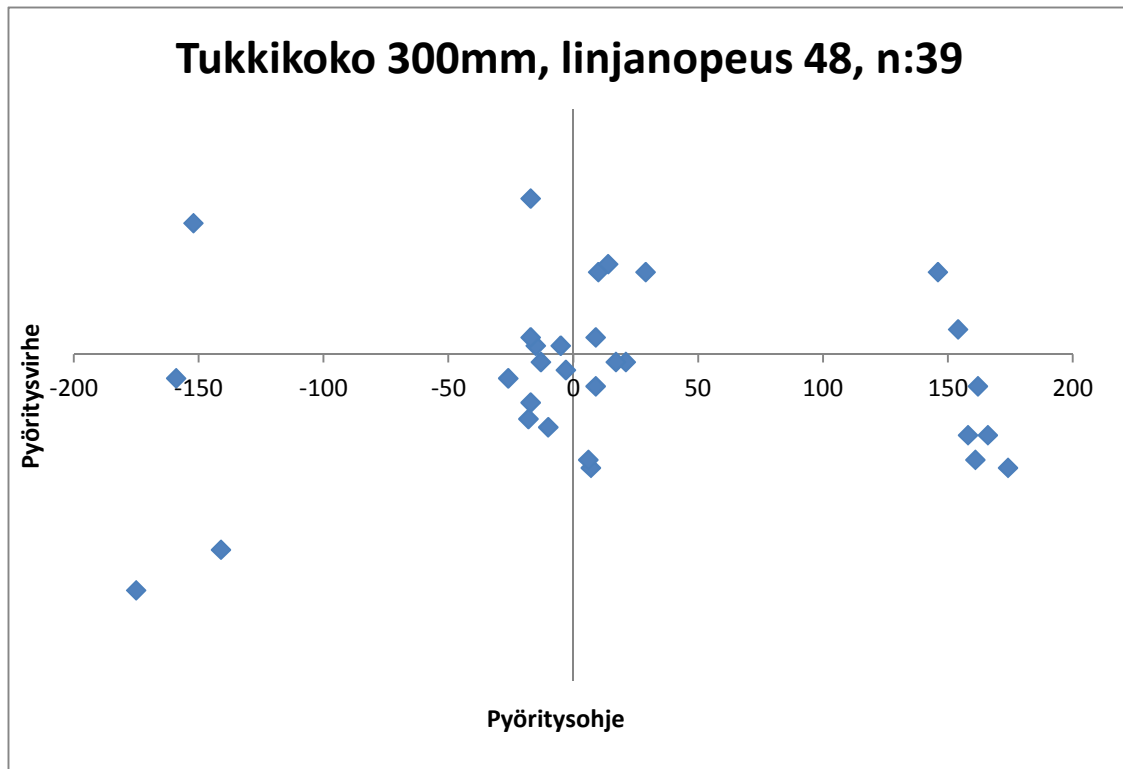
Kuva 23. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

### 7.3 Tukkikoko 300mm

Tukkiluokassa 300mm tukkeja sahattiin linjanopeuksilla 48m/min ja 56m/min. Otoserien suuruudet olivat nopeudella 48m/min 39 ja nopeudella 56m/min 31 kuvattua tukkia. Pyörityksen tarkkuuden tutkimista on havainnollistettu lasketuilla tukinpyörityksentunnusluvuilla (taulukko 6. ja taulukko 7.) sekä kuvaajalla molemmilla linjanopeuksilla. Kuvaajissa (Kuva 24. ja Kuva 25.) on havainnollistettu Pyöritysohjeen kulman ja tapahtuvan videokuvaalta mitatun pyöritysvirheen suhdetta.

Taulukko 6. Tukinpyörityksen tunnusluvut 300mm tukki ja linjanopeus 48m/min

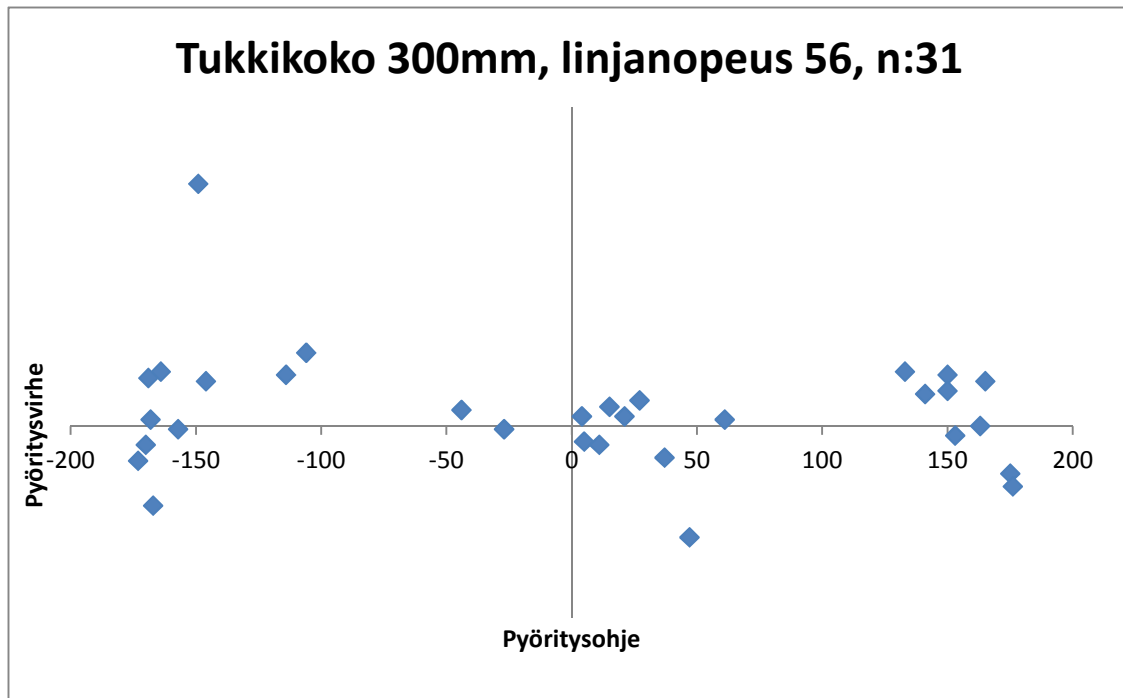
	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,37°	0,28°	0,28°
Hajonta	0,42°	0,29°	0,22°



Kuva 24. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

Taulukko 7. Tukinpyörityksen tunnusluvut 300mm tukki ja linjanopeus 56m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,38°	0,40°	0,44°
Hajonta	0,35°	0,45°	0,39°



Kuva 25. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

## 8 TARVITTAVAT VÄLITOIMENPITEET

Koska esikokeena suoritettujen koeajojen tulokset osoittivat, että Profi-TC tarvitsi vielä kehittämistä ja lisätutkimusta, jouduttiin laitteistoa säätämään Lisker Oy:n toimesta, ennen varsinaista seuraavaa koeajoa. Profi-TC:n aiempiin heikkoihin mittaustuloksiin vaikutti Profi-TC:n lamppujen heikentynyt valotaso. Profi-TC:ssä on neljä valoa, joista kahden valo oli selvästi himmentynyt ja muuttunut kellertäväksi. Valojen himmentyminen korjattiin vaihtamalla lamput. Koska viivatesti osoitti, että Profi-TC vaati vielä säätämistä, ei TC päällä/pois testin tekeminen tässä vaiheessa ollut tarpeellista ja järkevää.

## 9 TUTKIMUKSEN SUORITUS JA TULOKSET

Esikokeen ja välitoimenpiteiden jälkeen suoritettiin varsinainen pyöritystesti sulilla tukeilla seuraavissa kolmessa tukkiluokassa: 140, 200 ja 300. Kaikissa tukkiluokissa koeajo suoritettiin kahdella eri nopeudella, jotta nähtiin vaikuttaako linjanopeus pyörityksen tarkkuuteen. Tässä yhteydessä tehtiin myös TC päällä/pois testi tukkiluokilla 140 ja 200.

### 9.1 Viivatesti

Viivatesti suoritettiin Alholmassa viikolla 19 (2013) samoin menetelmin kuten esikoekin tehtiin. Taulukoiden 8-13 luvut on laskettu siten, että jokaisesta yksittäisestä pyöritysvirheestä on otettu itseisarvo, josta on laskettu pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo ja hajonta.

- TC-Ohje = Profi-TC:n mittaamasta arvosta vähennetty pyöritysohje.
- Todellinen-Ohje = videokuvaalta mitatusta kulmasta vähennetty pyöritysohje
- Todellinen-TC = videokuvaalta mitatusta kulmasta vähennetty Profi-TC:n mittaama kulma.

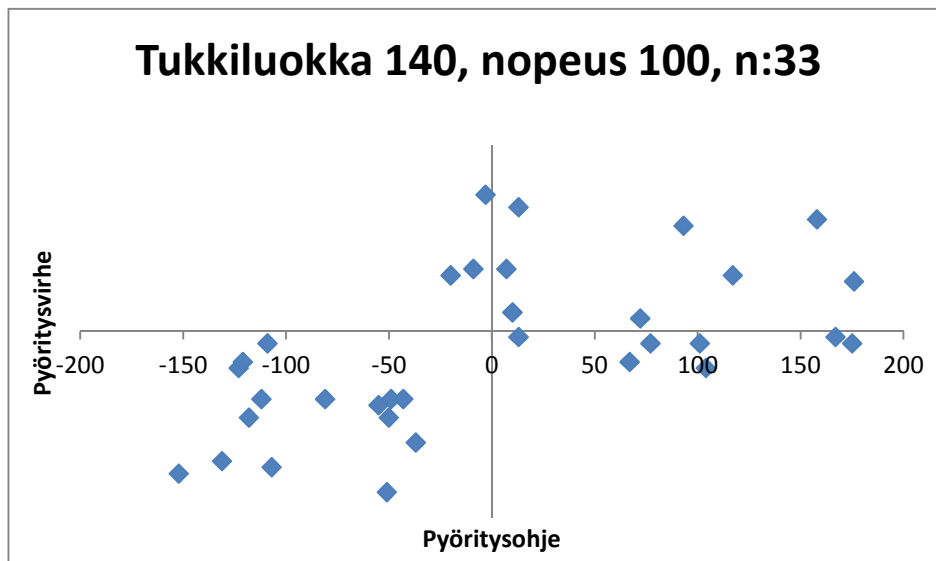
Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten tulokset eivät ole todellisia.

#### 9.1.1 Tukkip koko 140mm

Tukkiluokassa 140 koeajot suoritettiin linjanopeuksilla 100m/min ja 114m/min. Otokoot kokeissa olivat nopeudella 100m/min 33 tukkia ja nopeudella 114m/min 35 tukkia. Taulukoista 8 ja 9 on nähtävissä tukinpyörityksen tärkeimmät tunnusluvut, jotka on laskettu itseisarvoina. Kuvissa 26 ja 27 on havainnollistettu videolta kuvatusta materiaalista mitatusta kulmasta laskettu pyöritysvirhe ja sen suhde pyöritysohjeeseen.

Taulukko 8. Tukinpyöriytyksen tunnusluvut 140mm tukki ja linjanopeus 100m/min

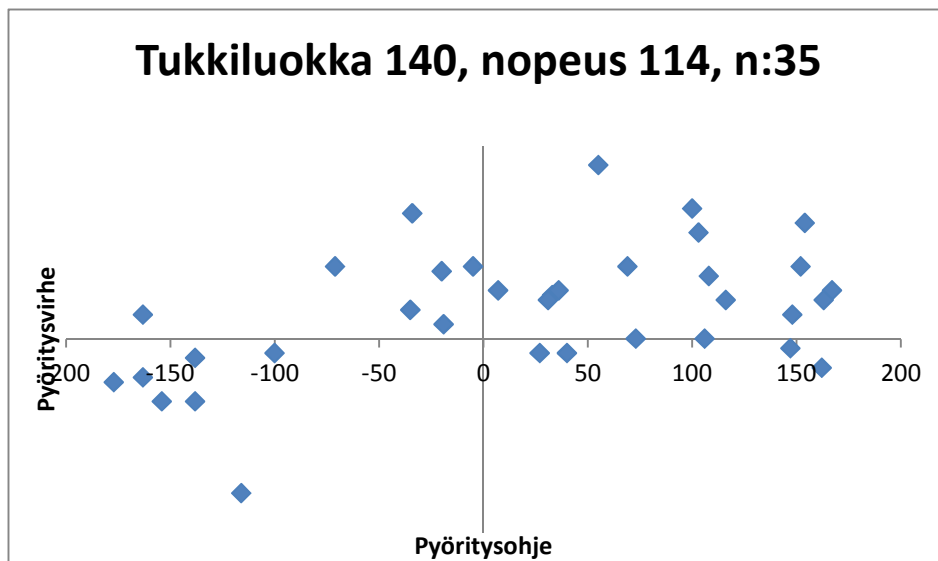
	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,20°	0,34°	0,21°
Hajonta	0,18°	0,24°	0,19°



Kuva 26. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

Taulukko 9. Tukinpyöriytyksen tunnusluvut 140mm tukki ja linjanopeus 114m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,23°	0,36°	0,34°
Hajonta	0,14°	0,28°	0,27°



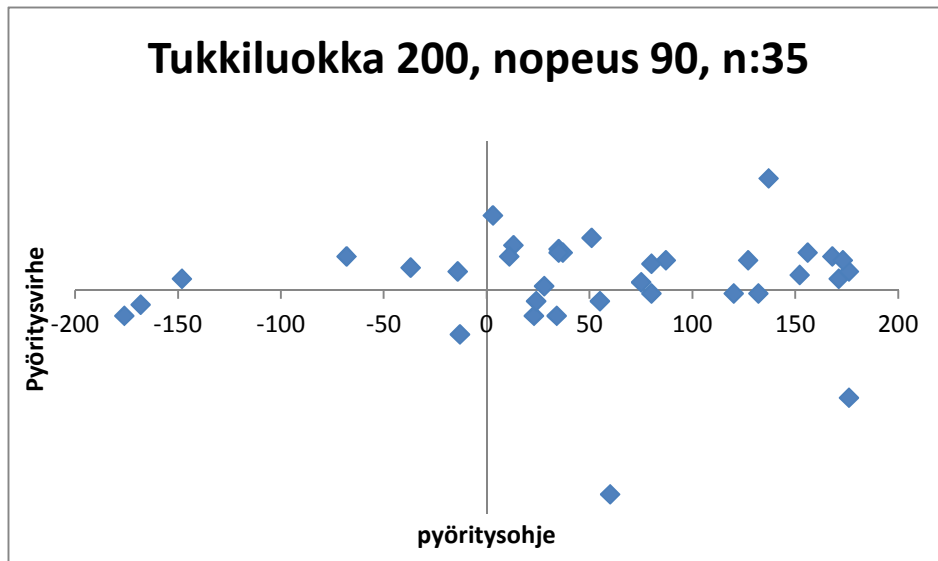
Kuva 27. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

### 9.1.2 Tukkikoko 200mm

Tukkiluokassa 200 koeajot suoritettiin linjanopeuksilla 90m/min ja 100m/min. Otoskoot kokeissa olivat nopeudella 90m/min 35 tukkia ja nopeudella 100m/min 27 tukkia. Taulukoista 10 ja 11 on nähtävissä tukinpyörityksen tärkeimmät tunnusluvut, jotka on laskettu itseisarvoina. Kuvissa 28 ja 29 on havainnollistettu videolta kuvatusta materiaalista mitatusta kulmasta laskettu pyöritysvirhe ja sen suhde pyöritysohjeeseen.

Taulukko 10. Tukinpyörityksen tunnusluvut 200mm tukki ja linjanopeus 90m/min

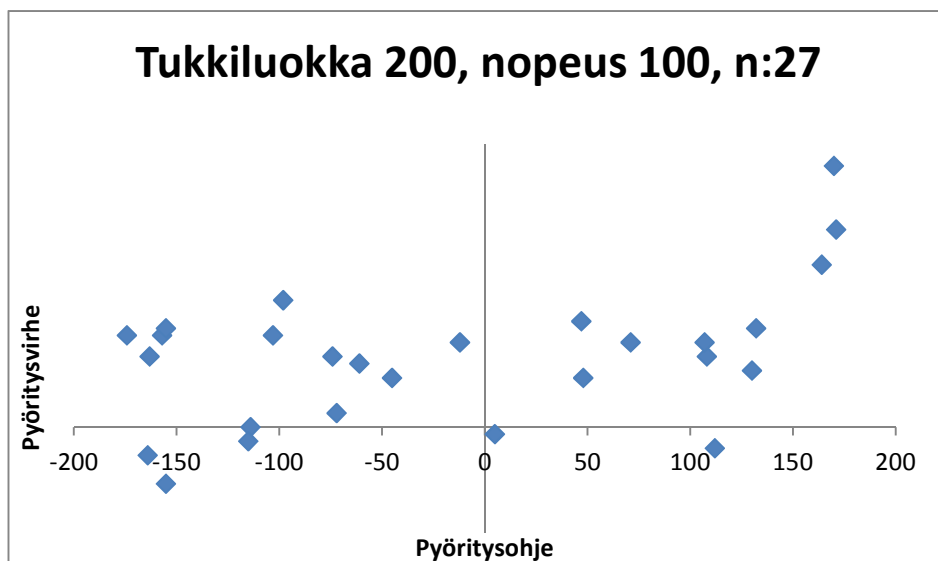
	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,17°	0,30°	0,27°
Hajonta	0,28°	0,33°	0,26°



Kuva 28. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

Taulukko 11. Tukiinpyörityksen tunnusluvut 200mm tukki ja linjanopeus 100m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,16°	0,35°	0,32°
Hajonta	0,10°	0,26°	0,30°



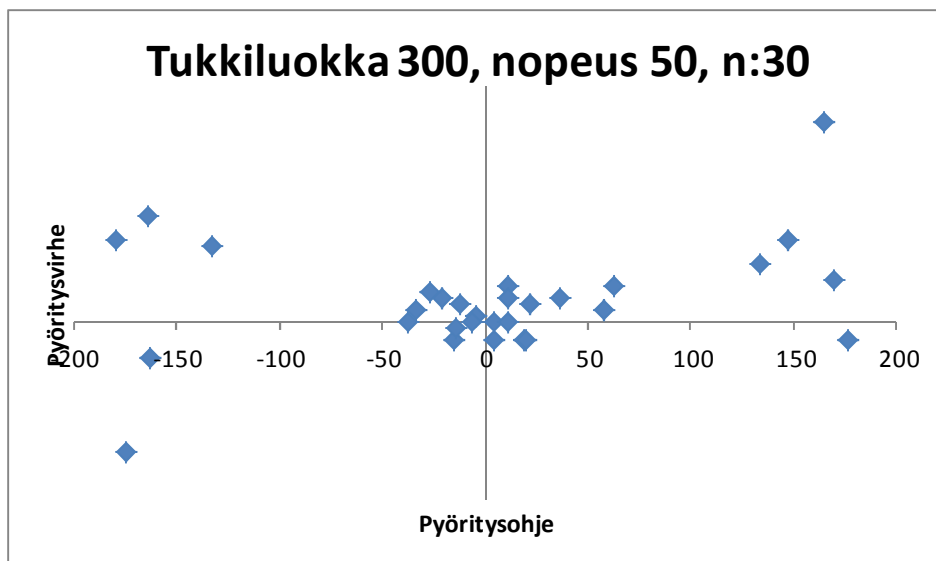
Kuva 29. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

### 9.1.3 Tukkikoko 300mm

Tukkiluokassa 300 koeajot suoritettiin linjanopeuksilla 50m/min ja 56m/min. Otskoot kokeissa olivat nopeudella 50m/min 30 tukkia ja nopeudella 56m/min 31 tukkia. Taulukoista 12 ja 13 on nähtävissä tukinpyörityksen tärkeimmät tunnusluvut, jotka on laskettu itseisarvoina. Kuvissa 30 ja 31 on havainnollistettu videolta kuvatusta materiaalista mitatusta kulmasta laskettu pyöritysvirhe ja sen suhde pyöritysohjeeseen.

Taulukko12. Tukinpyörityksen tunnusluvut 300mm tukki ja linjanopeus 50m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,18°	0,20°	0,26°
Hajonta	0,43°	0,24°	0,42°

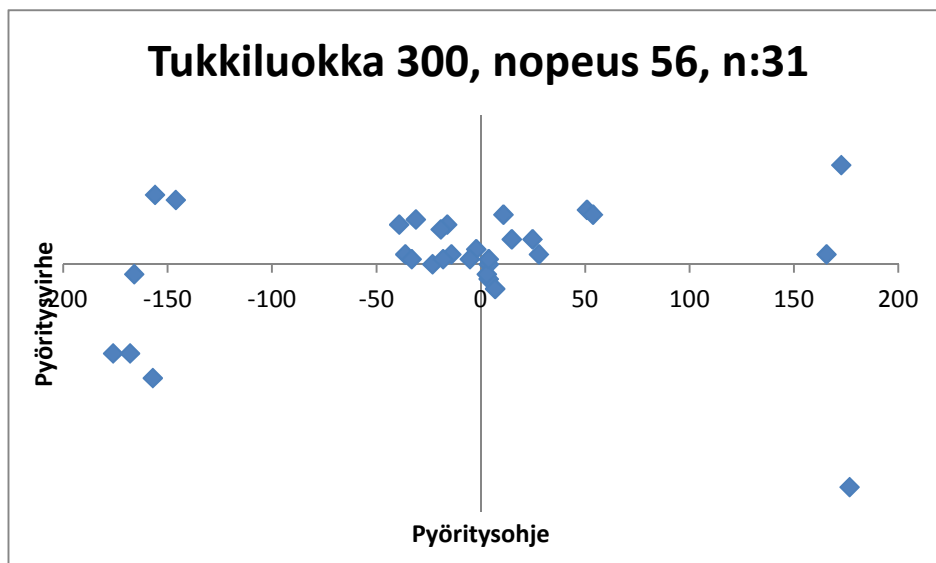


Kuva 30. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.



Taulukko 13. Tukiinpyörityksen tunnusluvut 300mm tukki ja linjanopeus 56m/min

	TC-ohje	Todellinen-ohje	Todellinen-TC
Pyöritysvirheen keskiarvon itseisarvo	0,21°	0,25°	0,21°
Hajonta	0,30°	0,29°	0,23°



Kuva 31. Pyöritysohjeen suhde todelliseen pyöritysvirheeseen.

## 9.2 TC päällä/pois testi

TC päällä/pois testi suoritettiin Alholmassa viikolla 19 (2013) viivatestien yhteydessä. TC päällä/pois testi tehtiin tukkiluokille 140 ja 200. Tukkiluokka 300 jouduttiin jättämään pois vähäisen tukkimäärän takia. Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten tulokset eivät ole todellisia.

### 9.2.1 Tukkiluokka 140

TC päällä/pois testi suoritettiin tukkiluokalla 140 sahauseristä 8705 ja 8707. Erässä 8705 kokonaisbruttosahausmäärä oli 77,2 m<sup>3</sup> ja Erässä 8707 79,6 m<sup>3</sup>. Taulukossa 14 ja 15 on havaittavissa, että katkomisprosentti on korkeampi Profi-TC:n ollessa poissa

päältä. 19x100 laudoilla katkomisprosentti oli TC päällä 0,04 prosenttiyksikköä pienempi kuin TC pois päältä.

Taulukko14. Lajittelussa tehtyjen katkomisien osuudet 19x100 laudalle

	Katkomisprosentti (%)	Katkottu (m <sup>3</sup> )	Keskimääräinen katkontapituus (m)
TC päällä	0,58	0,15	0,03
TC pois	0,62	0,16	0,03

Taulukosta 15 on havaittavissa, että katkomisprosentti on korkeampi myös 34x112 laudalla Profi-TC:n ollessa pois päältä. 34x112 laudoilla TC päällä 0,1 prosenttiyksikkö pienempi kuin TC:n ollessa pois päältä.

Taulukko15. Lajittelussa tehtyjen katkomisien osuudet 34x112 laudalle

	Katkomisprosentti (%)	Katkottu (m <sup>3</sup> )	Keskimääräinen katkontapituus (m)
TC päällä	0,21	0,11	0,01
TC pois	0,22	0,12	0,01

### 9.2.2 Tukkiluokka 200

TC päällä/pois testi suoritettiin tukkiluokassa 200 sahauserissä 8704 ja 8706. Erässä 8704 kokonaisbruttosahausmäärä oli 123,3 m<sup>3</sup> ja Erässä 8706 191,8 m<sup>3</sup>. Taulukoista 16 ja 17 on havaittavissa, että katkomisprosentti on hieman korkeampi Profi-TC:n ollessa pois päältä sekä 25x100 ja 34x112 laudoilla. Taulukosta 16 on nähtävissä, että katkomisprosentti 25x100 laudalle on 0,02 prosenttiyksikköä pienempi Profi-TC:n ollessa päällä.

Taulukko16. Lajittelussa tehtyjen katkomisien osuudet 25x100 laudalle

	Katkomisprosentti (%)	Katkottu (m <sup>3</sup> )	Keskimääräinen katkontapituus (m)
TC päällä	0,14	0,17	0,01
TC pois	0,16	0,07	0,01

Taulukosta 17 on nähtävissä, että katkomisprosentti on pienempi myös 34x112 laudalle Profi-TC:n ollessa päällä. Katkomisprosentti 34x112 laudalle on 0,01 prosenttiyksikköä pienempi Profi-TC:n ollessa päällä.

Taulukko17. Lajittelussa tehtyjen katkomisien osuudet 34x112 laudalle

	Katkomisprosentti (%)	Katkottu (m <sup>3</sup> )	Keskimääräinen katkontapituus (m)
TC päällä	0,19	0,17	0,01
TC pois	0,20	0,28	0,01

### 9.3 Profiscan-2

Pyöritystestien yhteydessä profiscan-2 eli pelkkamittari hälytti muutamaan otteeseen, pelkan ollessa väärin päin. Pelkka oli syystä tai toisesta jäänyt kääntämättä ennen sahausta, jolloin sahausasetteen mukainen sahaus ei olisi onnistunut, mikäli pelkka olisi mennyt väärässä asennossa sahaan. Pelkan jäädessä väärään asentoon, suoritettiin kääntö manuaalisesti sahurin toimesta. Profiscan-2:n raportit olivat sahauseristä 8705 ja 8709. Sahattavat tukiluokat olivat erässä 8705 140mm ja erässä 8709 300mm. Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten tulokset eivät ole todellisia

Taulukko 18. Sisempien lautojen määrälliset suhteet (sahauserä 8709).

	oikea lauta (kpl)	vasen lauta (kpl)	oikea lauta pituuskeskiarvo (mm)	vasen lauta pituuskeskiarvo (mm)
Täyssärmä 125	0,09	0,06	135,11	136,69
Täyssärmä 150	2,51	3,96	130,08	132,19
Täyssärmä 175	3,30	2,80	132,05	129,00
Täyssärmä 200	9,90	8,98	137,46	137,23

Taulukko 19. Ulompien lautojen määrälliset suhteet laudan korkeuden ollessa 100mm (sahauserä 8709).

	oikea lauta (kpl)	vasen lauta (kpl)	oikea lauta pituuskeskiarvo (mm)	vasen lauta pituuskeskiarvo (mm)
Täyssärmä	13,67	13,41	133,95	133,37
Puolet vajaasärmää	2,04	2,32	129,64	129,54
Yli 90% vajaasärmää	0,09	0,06	141,38	127,23

Profiscan-2:n raporteista on havaittavissa (taulukko 19 ja 20), jos oikean ja vasemman laudan määrissä ja pituuksissa on suuria eroja, että keskitys ei esimerkiksi toimi vaaditulla tavalla.

## 10 TULOSTEN TARKASTELU

Viivatestin esikokeessa havaittiin, että pyörityksen tarkkuudessa on toivomisen varaa. Esikokeen jälkeen suoritettiin edellä mainitut toimenpiteet, jonka jälkeen suoritettiin varsinainen koeajo. Varsinaisen koeajon tulokset olivat hieman paremmat verrattaessa esikokeessa saatuihin pyöritystuloksiin. Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten tulokset eivät ole todellisia.

### 10.1 Viivatesti

Varsinaisessa testissä pyöritysvirheiden keskiarvot pienenevät verrattaessa esikokeessa saatuihin tuloksiin. Poikkeuksena tästä oli tukkiluokka 200 hitaammalla linjanopeudella verrattaessa TC-ohje -pyöritysvirheitä sekä tukkiluokka 200 nopeammalla linjanopeudella verrattaessa video-TC -pyöritysvirhettä, joissa esikokeen keskiarvon itseisarvo oli pienempi kuin varsinaisessa koeajossa saatu tulos. Tukkiluokka- ja linjanopeuskohtaiset keskiarvojen itseisarvojen erotukset ovat luettavissa taulukosta 20.

Taulukko 20. Keskiarvojen itseisarvojen erotukset verrattaessa esikoea ja koetta (esikoe-koe)

	pyöritysvirhe TC-ohje	pyöritysvirhe Video-ohje	pyöritysvirhe Video-TC
140 hidas	0,02	0,23	0,28
140 nopea	0,07	0,42	0,36
200 hidas	-0,04	0,06	0,07
200 nopea	0,09	0,05	-0,05
300 hidas	0,19	0,08	0,02
300 nopea	0,17	0,15	0,22

Varsinaisessa koeajossa myös hajonnat pienenevät verrattaessa esikoeajon tulokseen, tosin tässäkin oli poikkeuksena tukkiluokka 200, jossa hajonta suureni osalla tuloksista. Tarkemmat yksittäiset tulokset löytyvät taulukosta 21. Tukkiluokalla 200 alhaisemmalla

linjanopeudella pyörityshajonta (TC-ohje) kasvoi 0,17 astetta ja pyörityshajonta (video-ohje) kasvoi 0,07 astetta. Tukkiluokalla 200 nopeammalla linjanopeudella kasvoi myös pyörityshajonta (video-TC) 0,01 astetta. Myös tukkuluokalla 300 alhaisemmalla linjanopeudella pyörityshajonnat (TC-ohje) ja (video-TC) kasvoivat. Pyörityshajonta (TC-ohje) kasvoi 0,01 astetta ja pyöritysvirhe (video-TC) kasvoi 0,20 astetta.

Taulukko 21. Hajontojen itseisarvojen erotukset verrattaessa esikoetta ja koetta (esikoe-koe)

	pyörityshajonta TC-ohje	pyörityshajonta Video-ohje	pyörityshajonta Video-TC
140 hidas	0,02	0,17	0,19
140 nopea	0,06	0,18	0,27
200 hidas	-0,17	-0,07	0,01
200 nopea	0,33	0,18	-0,10
300 hidas	-0,01	0,05	-0,20
300 nopea	0,05	0,15	0,16

Pääsääntöisesti on siis nähtävissä, että välitoimenpiteet paransivat pyöritystarkkuutta pyöritysvirheen osalta keskimäärin 0,13 astetta ja pyörityshajonnan osalta 0,07 astetta.

## 10.2 TC päällä/pois testi

TC päällä/pois testillä pyrittiin selkeyttämään Profi-TC:n taloudellista hyötyä. Taulukoissa 22–25 on nähtävissä kuinka Profi-TC:n päällä olo vaikuttaa sahatavaran saantoon tuhatta valmista sahatavara kuutiota kohden. Taulukoissa on myös havainnollistettu valmiin sahatavarahävikki sekä raaka-ainehävikki. Tukin raaka-ainehävikki on laskettu käyttämällä hyötysuhdetta 2.

Taulukko 22. Bruttosahatavara määrä ja raaka-ainehävikki valmista 1000 m<sup>3</sup> 19x100 lautta kohden

140 tukki 19x100	bruttosahatavara määrä (m <sup>3</sup> )	sahatavarahävikki (m <sup>3</sup> )	raaka-ainehävikki (tukki-m <sup>3</sup> )
TC päällä	38,48	7,07	14,14
TC pois päältä	39,14	7,73	15,46

Raaka-ainehävikki on TC:n ollessa päällä 19x100 laudalle 14,14 tukki-m<sup>3</sup>, joka rahassa vastaa noin 770 euroa (tukinhankintahinta 3/2013 Etelä-Pohjanmaalla on ollut 54,39 euroa (metla, 2013)). TC:n ollessa pois päältä on raaka-ainehävikki 15,46 tukki-m<sup>3</sup> eli noin 840 euroa. Tässä erässä Profi-TC:n taloudellinen hyöty olisi teoriassa ollut 70 euroa valmista tuhatta kuutiota 19x100 lautta raaka-aineen ollessa 140mm mäntytukki (käyttösuhteella 2).

Taulukko 23. Bruttosahatavara määrä ja raaka-ainehävikki valmista 1000 m<sup>3</sup> 34x112 lautta kohden

140 tukki 34x112	bruttosahatavara määrä (m <sup>3</sup> )	sahatavarahävikki (m <sup>3</sup> )	raaka-ainehävikki (tukki-m <sup>3</sup> )
TC päällä	33,71	2,29	4,59
TC pois päältä	33,80	2,39	4,78

Raaka-ainehävikki on TC:n ollessa päällä 34x112 laudalle 4,59 tukki-m<sup>3</sup>, joka rahassa vastaa noin 250 euroa. TC:n ollessa pois päältä on raaka-ainehävikki 4,78 tukki-m<sup>3</sup> eli noin 260 euroa. Tässä erässä Profi-TC:n taloudellinen hyöty olisi teoriassa ollut 10 euroa valmista tuhatta kuutiota 34x112 lautta raaka-aineen ollessa 140mm mäntytukki.

Taulukko 24. Bruttosahatavara määrä ja raaka-ainehävikki valmista 1000 m<sup>3</sup> 25x100 lautta kohden

200 tukki 25x100	bruttosahatavara määrä (m <sup>3</sup> )	sahatavarahävikki (m <sup>3</sup> )	raaka-ainehävikki (tukki-m <sup>3</sup> )
TC päällä	32,86	1,45	2,89
TC pois päältä	33,08	1,63	3,27

Raaka-ainehävikki on 200mm halkaisijaltaan olevalla tukilla TC:n ollessa päällä 25x100 laudalle 2,89 tukki-m<sup>3</sup>, joka rahassa vastaa noin 160 euroa. TC:n ollessa pois päältä on raaka-ainehävikki 3,27 tukki-m<sup>3</sup> eli noin 180 euroa. Tässä erässä Profi-TC:n taloudellinen hyöty olisi teoriassa ollut 20 euroa valmista tuhatta kuutiota 25x100 lautaa raaka-aineen ollessa 200mm mäntytukki (käyttösuhteella 2).

Taulukko 25. Bruttosahatavara määrä ja raaka-ainehävikki valmista 1000 m<sup>3</sup> 34x112 lautaa kohden

200 tukki 34x112	bruttosahatavara määrä (m <sup>3</sup> )	sahatavarahävikki (m <sup>3</sup> )	raaka-ainehävikki (tukki-m <sup>3</sup> )
TC päällä	33,43	2,01	4,02
TC pois päältä	33,49	2,07	4,15

Raaka-ainehävikki on 200mm halkaisijaltaan olevalla tukilla TC:n ollessa päällä 34x112 laudalle 4,02 tukki-m<sup>3</sup>, joka rahassa vastaa noin 220 euroa. TC:n ollessa pois päältä on raaka-aine hävikki 4,15 tukki-m<sup>3</sup> eli noin 225 euroa. Tässä erässä Profi-TC:n taloudellinen hyöty olisi teoriassa ollut noin 5 euroa valmista tuhatta kuutiota 34x112 lautaa raaka-aineen ollessa 200mm mäntytukki (käyttösuhteella 2).



## 11 YHTEENVETO

Tulokkaan ja Vuorilehdon (2005) mukaan hyväksytyt pyöritysalue on  $\pm 10^\circ$  tavoitekulmasta. Esikokeessa päästiin tähän edellä olevaan pyöritysalueeseen Profi-TC:n mukaan kaikilla muilla tukkiluokilla paitsi tukkiluokalla 300mm. Todellisuus videokuvan mukaan oli kuitenkin toinen, eikä tätä kyseistä hyväksytyä pyöritysaluetta saavutettu kuin tukkiluokassa 300mm nopeudella 48m/min ja siinäkin aivan hyväksytyt pyöritysalueen rajalla. Kaikki seuraavat tulokset ovat indeksoituja, joten ne eivät ole todellisia.

Lisker Oy:n toimesta Profi-TC:tä säädettiin vaihtamalla lamppuja, jonka jälkeen ajettiin varsinaiset koesahaukset. Koesahauksissa Profi-TC:n mukaan tulokset paranivat ja myös tässä koe-erässä pyöritysvirheet jäivät hyväksytylle pyöritysalueelle. Profi-TC:n mukaan pyöritysvirheiden keskiarvot pienenevät esikokeen ja varsinaisen koe-erän parhaimmillaan lähes 0,2 astetta. Todellisuudessa pyöritysvirheiden keskiarvot pienenevät myös esikoetta verrattaessa varsinaiseen koe-erään. Parhaimmillaan tulos parani noin reilut 0,42 astetta tukkiluokalla 140mm linjanopeudella 114m/min. Pienimmillään parannus oli noin 0,01 astetta, joka oli tukkiluokalla 200mm ja linjanopeudella 100m/min. Videokuvan mukaan puolet varsinaisista koe-eristä tavoitti hyväksytyt pyöritysalueen tavoitekulman.

Tulokas ja Vuorilehto (2005) toteavat myös, että mitä hitaampi linjanopeus on, sitä parempi on pyöritys. Tämä näyttää pitävän pyörityskokeiden mukaan aika hyvin paikkansa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta tukkiluokalla 200mm. Koska isommat tukit sahataan aina pienemmällä linjanopeudella kuin pienemmät tukit, on mahdotonta sanoa voiko tukin pinnan etäisyydellä Profi-TC:n kameraan olla vaikutusta Profi-TC:n tarkkuuteen. Halkaisijaltaan isompien tukkien pinnathan ovat huomattavasti lähempänä kameraa kuin halkaisijaltaan pienempien.

Sekä pyöritysvirheet että hajonnat pienenevät verrattaessa esikoetta ja varsinaista koetta. Pyöritysvirheiden keskiarvojen itseisarvot pienenevät keskimäärin 0,13 astetta ja pyöritysvirheiden hajonnat pienenevät keskimäärin 0,07 astetta.

TC päällä/pois testillä saatiin selvitettyä, että tämän hetkellä Profi-TC:n tarkkuudella, Profi-TC:n rahallinen merkitys tuhatta valmista sahatavarakuutiota kohden on, sahattavarasta ja raaka-aineen koosta riippuen, noin 5–70 euroa. Näin ollen teoreettisesti Alholman sahausmäärillä Profi-TC:n (Profi-TC:n tämän hetkellä tarkkuudella) merkitys on noin 1100–15500 euroa vuodessa. Mikäli Profi-TC:n ja pyörityksen tarkkuutta saadaan vielä parannettua, on rahallinen hyöty vielä huomattavasti suurempi.

Koska jo pienillä muutoksilla (Profi-TC:n lamppujen vaihto) saatiin jo kahden kokeen (esikoe ja koe) välillä parannusta, olisi varmasti vielä mielekästä jatkaa tutkimusta mahdollisten pyöritysmittareiden, pyöritysmekaniikan ja logiikan säädön jälkeen ja hakea niin sanottu optimaalinen pyöritystapa tälle kyseiselle sahalinjalle.

Jatkotutkimuksina on varmasti aiheellista vielä tarkistaa Profi-TC:n toimintaa ja tarkkuutta ja tehdä uudet koepyöritykset. Pyöritysvirheiden keskiarvoa pystytään pienentämään ainoastaan parantamalla pyöritysmittareiden tarkkuutta, joten tämän takia olisi erittäin järkevää vielä pyrkiä parantamaan Profi-TC:n tarkkuutta ja näin mahdollistaa parempi tilavuussaanto.

Sahalle ollaan myös vaihtamassa uusia tiheäpiikkisempiä tilttirullia. Tilttirullien vaihdolla pyritään saamaan pyöritystulosten hajontaa pienemmäksi. Tilttirullien vaihdonyhteydessä voisi olla hyvä testata myös pyöritysajan muuttamista siten, että pyöritykseen käytetään koko käytettävissä oleva pyöritysaika. Tällä hetkellä pyöritys tehdään nopeasti heti pyöritysajan alussa.

## LÄHDELUETTELO

1. Ylinampa , A. Keskustelu Pietarsaassa Alholmassa 28.11.2012
2. Suomen metsäyhdistys, 1999 (viitattu 7.6.2013). Puusta jalosteeksi s. 20.  
Saatavissa:  
[http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/Images/261B800BB3A6C101C2257132003B0C13/\\$file/PuustaJalosteeksi0\\_new.pdf](http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/Images/261B800BB3A6C101C2257132003B0C13/$file/PuustaJalosteeksi0_new.pdf)
3. Sipi, M. Puutuoteteollisuus 5, Sahatavaran tuotanto, 2. painos, Edita Oy, Helsinki 2002. 74s.
4. Vesanen, J. 2005, Tukki- ja parruoptimoinnin toimivuuden kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikka. 84s
5. Vuorilehto, J. PulPaper 2004, Kunnossapito 4
6. Usenius, A. Heikkilä, A. Song, T. Fröblom, J. Usenius, T. 2010: Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa. VTT tiedotteita - Research notes 2544. s. 131
7. Tulokas, T. Tannous. Silva Fennica 2010: Research Method and Improvement of Log Rotation in Sawmills
8. Tulokas, T. Vuorilehto, J. Puumies 7/2004, Tukinpyörittäjän tarkkuudesta, s.6-7
9. Tulokas, T. Vuorilehto, J. Puumies 8/2005, Tukinpyörittäminen on retuperällä, s. 3-4
10. [www.arivisland.com](http://www.arivisland.com), 13.6.2013
11. [www.lisker.fi](http://www.lisker.fi), 26.6.2013

12. Tulokas, T. Vuorilehto, J. Baltic Forestry 13/2007, Improvement Potential in Log Rotation, s.222-223
13. Kemppinen, O. 2005. Tukin asemointi sahausta varten. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikka. 81s.
14. UPM-Kymmene Oyj, 22.5.2013
15. Fagerstedt, K. Pellinen, K. Saarenpää, P. Timonen, T. Mikä puu – mistä puusta. 2. korjattu painos, Yliopistopaino, Helsinki 2004. 66-79s
16. Kärkkäinen, M. Puutieteen perusteet, Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Karisto Oy, Hämeenlinna 2003. 249-250s
17. [www.lisker.fi/tuotteet/profiscan1](http://www.lisker.fi/tuotteet/profiscan1), 1.3.2013
18. Lisker Oy, Profiscan-1 käyttöohje, 23.8.2011
19. Lisker Oy, Profi TC käyttöohje, 12.4.2011
20. [www.lisker.fi/tuotteet/profitc](http://www.lisker.fi/tuotteet/profitc) , 15.2.2013
21. [www.liske.fi/tuotteet/profiscan2](http://www.liske.fi/tuotteet/profiscan2), 1.3.2013
22. Lisker Oy, Profiscan-2-pelkkamittari käyttöohje, 11.2.2011
23. Linkosalmi, L. 2009. Tukin lenkouden vaikutus sahatavaran saantoon. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta. Puunjalostustekniikka. 76s.
24. [www.metla.fi/metinfo/mo/hankintahinta](http://www.metla.fi/metinfo/mo/hankintahinta), 14.5.2013