

Viitasalo Mikko

**TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MITTAAMINEN
JUNNIKKALA OY:N KALAJOEN SAHALLE**

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikka

TAMMIKUU 2011

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Tammikuu 2011	Tekijä Mikko Viitasalo
Koulutusohjelma Puutekniikka		
Työn nimi Tukinpyörittäjän tarkkuuden mittaaminen Junnikkala Oy:n Kalajoen sahalle		
Työn ohjaajat KTT Kaija Arhio FT Raine Kerttula		Sivumäärä 40 + 5
Työelämäohjaaja Veikko Kahila		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Junnikkala Oy:n Kalajoen Sahalle. Tuotantolaitos sijaitsee keskeisellä paikalla Suomen länsirannikolla, lähellä Rahjan satamaa. Sahalaitos on erikoistunut järeän havupuun sahaukseen ja vuosittainen tuotanto on keskimäärin noin 120 000 m³ valmista sahatavaraa.</p> <p>Työn tarkoituksena oli mitata sahalinjan tukinpyörittäjän tarkkuus. Tukinpyörittäjän toimivuutta ei ole aikaisemmin kokeellisesti todennettu eikä tarkkuudesta ollut varmuutta. Tavoitteena oli myös pohtia mahdollisuuksia nykyisen tarkkuuden parantamiseksi. Työ rajattiin koskemaan tukinpyörittäjän tarkkuutta ja tarkkuuden parantamisen ideointia. Pyöritysvirheen vaikutusta saantoon käsitellään työn teoriaosuudessa.</p> <p>Käytännön mittaustyö suoritettiin Veisto Oy:n ohjeistaman mittaustekniikan avulla. Mittaustulosten käsittely suoritettiin AutoCAD – ohjelmiston ja Microsoft Office Excel – taulukkolaskentaohjelman avulla.</p> <p>Lopputuloksena saatiin selkeä kuva Kalajoen sahalinjan tukinpyörittäjän pyöritystarkkuudesta.</p>		

Asiasanat
Tukinpyöritys

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska unit	Date January 2011	Author Mikko Viitasalo
Degree programme Wood Technology		
Name of thesis Measuring the accuracy of a log rotator to Kalajoki sawmill, Junnikkala Ltd		
Instructors Ph.D. Kaija Arhio Ph.D. Raine Kerttula		Pages 40 + 5
Supervisor Veikko Kahila		
<p>This thesis was commissioned by Junnikkala Ltd's Kalajoki sawmill. The factory has a central location on the west coast of Finland, near the port of Rahja. The sawmill is specialized in the sawing of heavy-duty softwood logs, and the annual production is on average about 120 000 m³ of ready sawn timber.</p> <p>The purpose of this thesis was to measure the accuracy of a log rotator. The functionality of the log rotator has not previously been experimentally verified. There was no reliable information about the accuracy. The aim was also to consider opportunities to improve the current accuracy. The link between log rotating errors and the yield is discussed in the theory section.</p> <p>The measuring was carried out with a measuring technique instructed by Veisto Ltd. The analysis of the measuring data was carried out with AutoCAD – software and Microsoft Office Excel – spreadsheet program.</p> <p>The results gave a clear picture about the accuracy of the log rotator in the sawmill.</p>		

Key words Log turning

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Mekaniikka	=	Laitteiston konkreettinen rakenne
Optimointi	=	Optimiarvon tai – määrän etsiminen
Profilointi	=	Sahausmenetelmä, jossa saheet särmätään ennen lappeiden työstämistä
Pyörityskulman hajonta	=	Pyöritysvirheen keskihajonta keskiarvon ympärillä
Pyörityskulman keskiarvo	=	Optimoidun ja toteutuneen pyörityskulman erotusten keskiarvo
Saanto	=	Syntyneen tuotteen määrän suhde käytettyyn raaka-ainemäärään
Telapaine	=	Tukkia puristavien telojen puristusaine
Tukkimitari	=	Mittalaite, jolla tuotetaan tietoa tukin mitoista
Redusointi	=	Tukin tyvilaajentuman sievennys

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

SISÄLLYS	Sivu
1 JOHDANTO	1
2 JUNNIKKALA OY	3
2.1 Raaka-aineen hankinta	4
2.2 Sahan prosessikuvaus	5
3 KANNATTAVA SAHAUS	6
3.1 Raaka-ainekustannukset	7
3.2 Pyöritysvirheen vaikutus saantoon	8
4 TUKIN ASEMOINTI SAHAUSTA VARTEN	11
4.1 Tukin mittaus	12
4.2 Tukinpyöritysmenetelmät	13
4.3 Tukinpyörityslaitteet	14
4.4 Tukinpyörityksen tunnusluvut	17
5 TUKINPYÖRITYKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	19
5.1 Tukin geometria	19
5.2 Tukinpyörittäjän mekaniikka	20
5.3 Kuljettimet	21
5.4 Tukkiluokka, linjanopeus ja telapaine	21
6 TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MITTAUS	23
6.1 Kalajoen sahan tukinpyöritysjärjestelmä	24
6.2 Mittausmenetelmä	27
6.3 Mittausmenetelmän tarkkuus	29
7 MITTAUSTULOKSET	31
7.1 Mittaustulosten analysointi	32
7.2 Johtopäätökset	35
8 POHDINTA	37
LÄHTEET	39
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe saatiin Junnikkala Oy:n Kalajoen sahalta. Tuotantolaitos sijaitsee keskeisellä paikalla Suomen länsirannikolla, lähellä Rahjan satamaa. Kalajoen saha on erikoistunut järeän havupuun sahaukseen ja vuosittainen tuotanto on keskimäärin noin 120 000 m³ valmista sahatavaraa. Kalajoen sahan sahalinja on uusittu vuonna 1998, jolloin uusittiin myös kaikki apulaitteet.

Tutkimusongelma koskee sahalinjan tukinpyöritystä. Tukinpyörityslaitteisto ja ohjauslaitteet ovat sinällään toiminnassa, mutta pyörityksen tarkkuudesta ei ole varmuutta eikä järjestelmän toimivuutta ole aikaisemmin kokeellisesti todennettu. Tukinpyöritystä silmämääräisesti tarkastelemalla voidaan kuitenkin olettaa tukinpyörityksen toimivan oikein. Tukin asemointi on keskeinen osa sahausprosessia, jolla on suuri merkitys hyvän taloudellisen tuloksen saavuttamisessa.

Tutkimustyön tarkoituksena oli mitata Kalajoen sahan sahalinjan tarkkuus sekä pohtia mahdollisuuksia tarkkuuden parantamiseksi. Tavoitteena oli luoda selkeä kuva tukinpyörityksen toimivuudesta. Pyörityksen tarkkuutta määritettiin pyörityskulman hajontaa tutkimalla. Tukinpyörityksen osatekijöinä käsitellään tukkiluokkaa ja linjanopeutta. Työ rajattiin koskemaan vain tukinpyörityksen tarkkuutta sekä tarkkuuden parantamista. Pyöritysvirheen aiheuttaman taloudellisen menetyksen määrittäminen rajattiin työstä pois. Pyöritysvirheen vaikutusta saantoon käsitellään työn teoriaosuudessa.

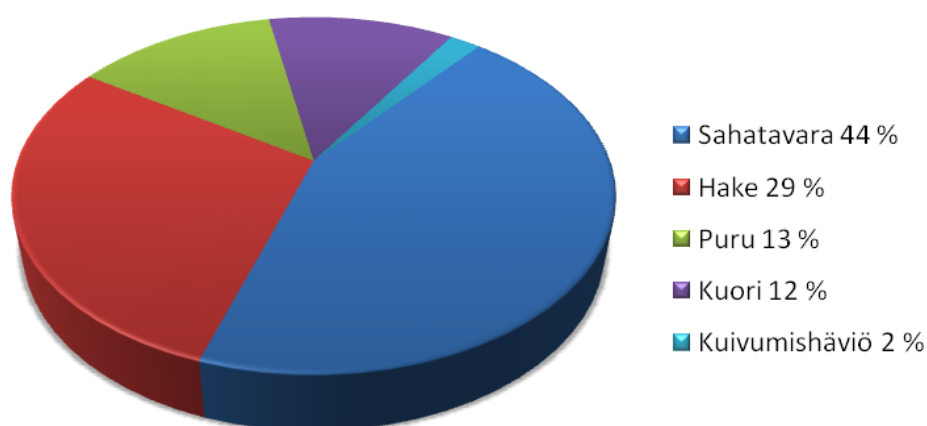
Käytännön mittaustyössä hyödynnettiin Veisto Oy:n ohjeistamaa mittaustekniikkaa. Mittaustulosten käsittely suoritettiin AutoCAD-ohjelmiston ja Microsoft Office Excel-tilukkolaskentaohjelman avulla.

Lopputuloksena saatiin selkeä kuva Kalajoen sahalinjan tukinpyörittäjän pyöritystarkkuudesta. Tulosta voidaan käyttää pohjatietona tukkioptimoinnin kehittämisen suunnittelussa. Kirjallisista lähteistä mainittakoon tärkeimpinä Jaakko Vuorilehdon sekä Tomi Tulokkaan artikkelit sekä tutkimukset.

2 JUNNIKKALA OY

Junnikkala Oy aloitti sahaustoimintansa Kalajoella 1960-luvun alkupuolella. Yritys toimi aikaisemmin nimellä Junnikkalan saha. Yritys tuottaa sekä sahatavaraa että sahatavaran jatkojalosteita. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kalajoella ja Oulaisissa. Kalajoella sijaitsee järeän havupuun käsittelyyn erikoistunut saha, jatkojalostuslaitos ja maalaamo. Oulaisissa sijaitsee pienpuun sahaukseen erikoistunut tehokas sahalaitos. Vuosittainen liikevaihto on noin 40 milj. €. Vuosittainen tuotanto kahdella sahalla on keskimäärin noin 170 000 m³ valmista sahatavaraa. Liikevaihto ja muut tiedot perustuvat tilivuoden 2009 toteutuneisiin arvoihin. (Junnikkala Oy Ekotase 2009.)

Kalajoen saha työllistää yhteensä noin 48 työntekijää, joista osa työskentelee urakoitsijan palveluksessa. Sahalla työskennellään yleensä kahdessa vuorossa, mutta myös kolmessa vuorossa työskentely on mahdollista. Vuotuinen raaka-aineen tarve Kalajoen sahalla on noin 270 000 m³ mänty- ja kuusisahapuuta, josta mäntyä on noin 60 % ja kuusta 40 %. Laitokselle tuotavien tukkien pituudet ovat 3,7 metristä aina 6,1 metriin ja latvaläpimitat 140 mm – 480 mm. Sahauksen sivutuotteina syntyy kuorta, purua ja haketta (KUVIO 1). Hake myydään sellun raaka-aineeksi, purua ja kuorta käytetään polttoaineena tuotantolaitoksen omien lämpölaitosten lisäksi lähialueiden lämpölaitoksilla. (Junnikkala Oy Ekotase 2009.)



KUVIO 1. Raaka-aineen jakautuminen (Junnikkala Oy Ekotase 2009.)

2.1 Raaka-aineen hankinta

Raaka-ainehankinnoista vastaa Junnikkala Oy:n oma metsäosasto. Hankinta-alue on noin 150 km:n säteellä tuotantolaitoksesta, käsittäen Pohjois-Pohjanmaan eteläosan ja Keski-Pohjanmaan pohjoisosan. Pääosa omasta puunhankinnasta tapahtuu metsänomistajien ja metsänhoitoyhdistysten valmiiksi suunnittelemissa leimikoissa. Leimikoiden korjaus tapahtuu pääosin koneellisesti ja puuta kerätään ympärivuotisesti. Puunkorjuusta ja kuljetuksesta vastaavat urakoitsijoiden omistamat monitoimikoneketjut ja puutavara-autot. (Junnikkala Oy Ekotase 2009.)

Tärkeimmät vieraat toimittajat ovat StoraEnso, Metsähallitus, Metsäliitto ja UPM-Kymmene sekä metsänomistajien omat järjestöt kuten Keski-Pohjanmaan Metsämarkkinointi ja metsänhoitoyhdistykset. Vierailta toimittajilta puuta ostetaan vaihtamalla kuitupuuta tukkipuuhun metsäteollisuusintegraattien kanssa. (Junnikkala Oy Ekotase 2009.)

2.2 Sahan prosessikuvaus

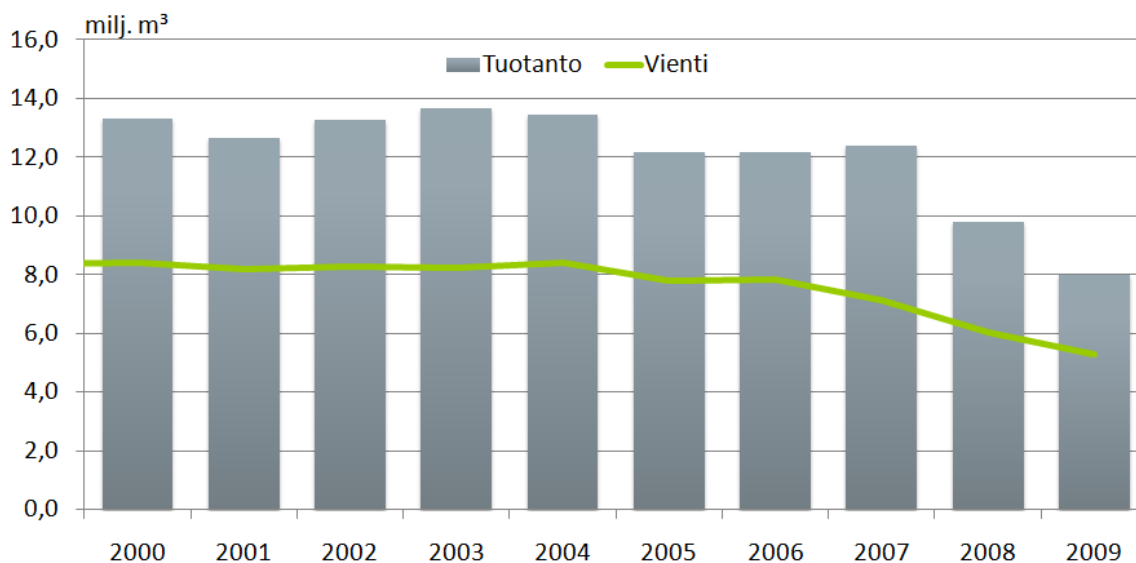
Tukit kuljetetaan suoraan hakkuutyömaalta sahalle, jossa ne lajitellaan koon, tilavuuden ja laadun mukaan. Tämä luo perustan raaka-aineen hinnoittelulle. Kaikki kuljetukset suoritetaan puutavara-autoilla. Lajitellut tukit siirretään sahan maavarastoon odottamaan sahausta. Tukkeja ei kastella eikä suojata torjunta-aineilla, sillä tavoitteena on ympärivuotisesti tuore puu. Maavarastosta tukit siirretään sahansyöttöön, jossa tukit tarkistusmitataan ja tarvittaessa käännetään. Tämän jälkeen tukit kuoritaan ja tyvilaajentumat redusoidaan. Kuoritut tukit ohjataan sahalinjaan mekaanisien kuljettimien avulla.

Sahaus tapahtuu pelkka-pyörö-profilointisahauksena. Pelkkasahan erottamat sivulaudat ohjataan omalla kuljettimella automaattiselle särmäyslaitteelle, joka särmää lauta-aihiot optimileveyteen. Varsinaisesta sahauksesta ja särmäyksestä syntyneet sahatavarakappaleet ohjataan dimensiolajitteluun, jossa sahatavara laadutetaan ja katkotaan. Laadutus hoidetaan kameralajittelun avulla. Tästä eteenpäin sahatavarakappaleet ohjataan dimensiolajittelijan lokeroihin ja edelleen rimoitukseen. Sahaus ja särmäys tapahtuvat samassa rakennuksessa ja lajittelu sekä rimoitus omassaan. Sahatavara siirtyy rakennuksesta toiseen katettujen kuljettimien avulla. Sahauksessa syntyvät särmäysrimat ja tasauspätkät ohjataan hakkuriin.

Tuore sahatavara ohjataan dimensiolajittelijan lokeroista rimoitukseen. Rimoitus tehdään koneellista kuivausta varten. Valmiin ja kuivatun sahatavaran lajittelu tapahtuu tasaamo- ja paketoitiosastolla. Sahatavaran lajittelu ja taseus suoritetaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti.

3 KANNATTAVA SAHAUS

Sahatavara on puutuoteteollisuuden perustuote, jonka suurin loppukäyttäjä on rakennussektori. Puurakentamisen lisäksi sahatavaraa käytetään jatkojalostuksen raaka-aineena. Yli puolet tuotannosta menee vientiin, kotimaan ollessa kuitenkin tärkein yksittäinen kulutusmaa. Normaalitasolla Suomessa käytetään vuosittain sahatavaraa hieman yli kuutiometri henkilöä kohden. Vuonna 2009 Suomen havusahatavaran tuotanto notkahti noin 8 miljoonaan kuutiometriin (KUVIO 2), mutta sahatavaran tuotantomäärät ovat kasvaneet hieman kohti vuoden 2010 loppua. Elpyvä rakentaminen ja talous ovat vahvistaneet puutuotteiden kysyntää. Tuotanto ei kuitenkaan vielä yllä parin vuoden takaiselle tasolle. Suomen osuus Euroopan sahatavaran tuotannosta on noin 15 %. (Janatuinen 2010.)



KUVIO 2. Vuosittainen havusahatavaran tuotanto Suomessa (Metsäteollisuuden Tilastopalvelu 2010.)

Sahateollisuudessa kamppaillaan kannattavuusongelmien kanssa. Raaka-aine on kallista, ja siitä kilpaillaan sahalaitosten kesken. Tämä on peruste raaka-aineen saannon optimoinnille. Korkeita tuotantokustannuksia on vaikea siirtää valmiiden tuotteiden hintoihin, koska bulkkituotteissa kilpaillaan perinteisesti hinnalla. Sahalaitosten täytyy tuottaa suurella volyymilla hyvälaatuista tavaraa sekä saada tuloutettua kaikki tehtaalle saapuva raaka-aine. Pidemmällä aikajänteellä myös sopimussuhteet, toimitusajat tai reklamaatioiden vähyyys vahvistavat sahalaitoksen kilpailukykyä. Puutuoteteollisuuden markkinakentän myynnin luonne voi kuitenkin olla hyvinkin lyhytjänteistä, jolloin kilpailuetua voidaan saavuttaa asiakkaan tarpeisiin reagoimalla. (Vesänen 2005, 10–11.)

3.1 Raaka-ainekustannukset

Sahalaitoksen raaka-ainekustannukset koostuvat itse raakapuun hinnasta sekä osto- ja kuljetuskustannuksista. Raaka-aineen hinnan osuus raaka-ainekustannuksista on kuitenkin suurin. Tukkipuiden kantohinnat ovat nousseet kevään 2010 aikana dramaattisesti, mutta vuoden loppua kohden nousu on tasaantunut. Mäntytukin keskimääräinen kantohinta oli vuoden 2010 marraskuussa noin 56 euroa kuutiolta, kuusitukin ollessa hieman kalliimpaa. Koivutukin kantohinta oli noin 44 euroa. Raaka-aineen muodostaessa suurimman osan tuotantokustannuksista on loogisinta pyrkiä säästämään raaka-ainekustannuksissa. Raaka-aine syö tuotantokustannuksista yli kaksi kolmasosaa. (Kemppinen 2005, 7; MTK 2010.; Janatuinen 2010.)

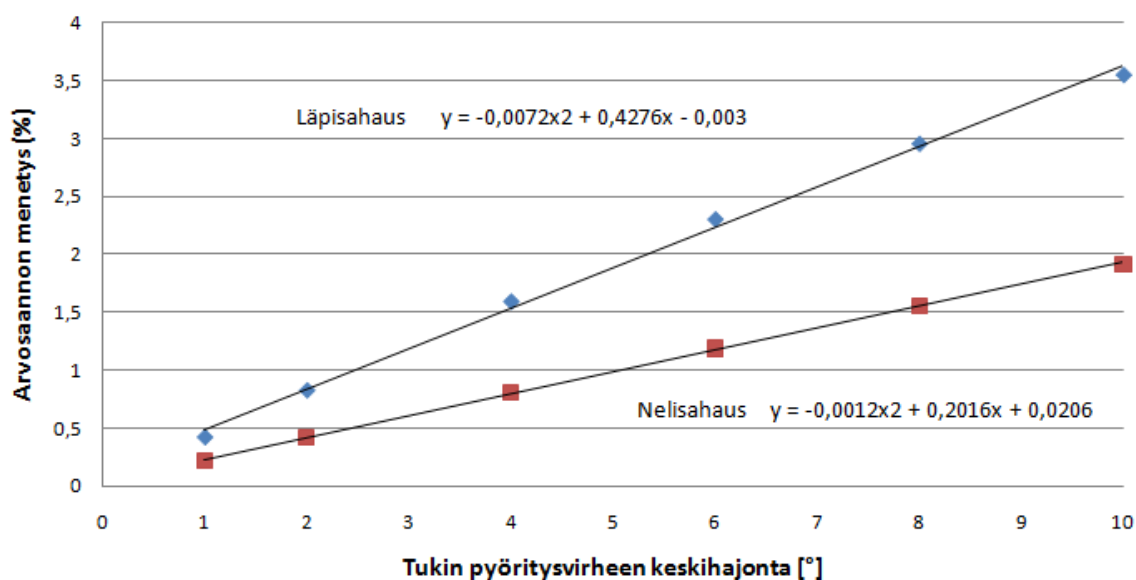
3.2 Pyöritysvirheen vaikutus saantoon

Sahauksessa saanto tarkoittaa syntyneen sahatavaran määrän suhdetta käytettyyn raaka-ainemäärään. Arvosaanto tarkoittaa syntyneen sahatavaran arvon suhdetta käytetystä raaka-aineesta saatavan sahatavaran maksimiarvoon. Sahateollisuuden raaka-aine on tukkipuu, jota kuluu yhden sahatavarakuution valmistamiseen keskimäärin 2,2 kuutiometriä. Raaka-aineen käyttösuhde on siis 2,2. Saantoon vaikuttavista tekijöistä tärkeimmät ovat raaka-aineen laatu sekä lajittelu. Myös sahausmenetelmällä on suuri merkitys saantoon. Muita saantoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. sahausrako, asetevalinta, kuivauksen taso, prosessihäiriöt ja tukin suuntaus. Profiloivat sahalinjat pienentävät sahatavaran saantoa verrattuna esimerkiksi sahaukseen, sillä uloin osa tukista haketetaan. Haketus nostaa sahalinjojen tehokkuutta, sillä sivulautojen käsittely hidastaa linjanopeuksia. (Vuorilehto 2004, 20; Usenius 2009.)

Sahan saanto voi heikentyä jopa 10 %, jos tukki pyöritetään lenkouden kannalta parhaasta asennosta poikkeavaan asentoon. Monimuotoisilla, lengoilla ja soikeilla tukeilla väärä sahausasento heikentää saantoa luonnollisesti merkittävästi. Hyvä tapa pyöritysvirheen ja saannon välisen yhteyden tutkimiseen on sahaussimulointi, jossa oikeista tukkimittauksista kerättyjä tukkitietoja voidaan käsitellä. Simulointiohjelmalla voidaan luoda pyöritykseen haluttuja virheitä, ja ohjelma kertoo sahausksen saannon tai arvosaannon eri pyörityskulmilla. Tukinpyörityksen vaikutusta sahausksen saantoon voidaan myös tutkia erilaisten tukkiparametrien avulla. (Vuorilehto 2004, 20; Tulokas 2010.)

INNOSIM on VTT:n simulointiohjelma, jolla voidaan simuloida hyvin yksityiskohtaisesti tukkien sahausta ja jatkojalostusta. Ohjelmassa tukki kuvataan geometrian ja oksikkuuden suhteen tarkasti. Myös sahausksessa syntyvät tuotteet voidaan määrittää haluttujen ominaisuuksien mukaan yksityiskohtaisesti.

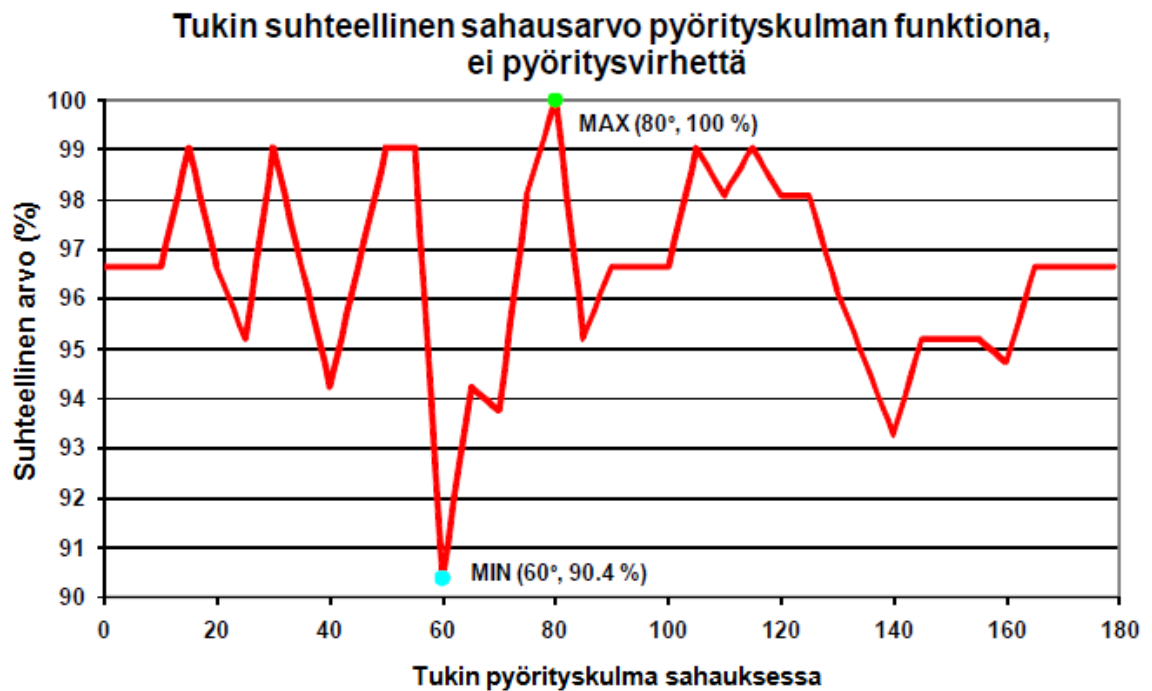
Sahausasetteeksi voidaan valita joko läpisahauksen tai nelisahauksen asetteita. Ohjelmassa voidaan käyttää myös erilaisia tukin pyörityskulmia ja pelkan suuntausta tai käyräsahausta. VTT on tutkinut simulointiohjelman avulla erään mäntytukin pyöritysvirheen aiheuttaman tukin sahausarvon menetystä verrattuna optimaaliseen pyöritykseen neli- ja läpisahauksessa. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mitä suurempi pyörityskulman hajonta sitä suurempi arvosaannon menetys sahausessa (KUVIO 3). (Usenius, Heikkilä, Song, Fröblom & Usenius 2010, 48–141.)



KUVIO 3. Sahausarvon menetys optimaaliseen pyörityskulmaan verrattuna (Usenius ym. 2010, 140.)

Kuviosta 3 nähdään, että tukin pyöritysvirhe huonontaa sahausarvoa jokseenkin lineaarisesti sekä läpisahauksessa että nelisahauksessa. Tutkimuksen mukaan 10° standardipoikkeama pyöritysvirheessä merkitsee nelisahauksessa noin 2 % menetystä arvosaannossa. Vastaava arvo läpisahauksessa on noin 3,5 %. Läpisahaus on siten nelisahausta herkempi tukin pyörityksessä tapahtuville virheille. (Usenius ym. 2010, 140–141.)

Arvosaanto voi maksimoitua ja minimoitua pyörityskulmien arvoilla, jotka voivat olla hyvinkin lähellä toisiaan. Tämä ilmenee kuvioista 4, jossa esitetään suorasta mäntytukista sahauskessa saatavien tuotteiden suhteellinen arvo tukin pyörityskulman funktiona. Tuotteiden arvo laskettiin InnoSim-simulointiohjelmalla 15° tukin pyörityskulman välein. (Usenius ym. 2010, 137.)



KUVIO 4. Suhteellinen sahausarvo tukin pyörityskulman funktiona. (Usenius ym. 2010, 136.)

Kuvion 4 mukaan kyseisen tukin arvo pyörityskulman arvolla 55° on 99 % maksimiarvosta. Huonoin tukin arvo 90,4% maksimiarvosta saadaan läheisellä pyörityskulmalla 60°. Pieni ero pyörityskulmassa voi siis romahduttaa tukin arvon. Pyöritysvirhe on riskitekijä, joka täytyy ottaa huomioon parasta sahausasentoa määritettäessä. Jos pyöritystarkkuus on erittäin hyvä, kannattaa pyrkiä saavuttamaan yksittäinen hyvinkin paikallinen "vuorenhuippu". Jos taas pyöritystarkkuus on huono, on pyrittävä löytämään "vuoristosta" alue, joka on keskimääräistä korkeampi. (Usenius ym. 2010, 137.)

4 TUKIN ASEMOINTI SAHAUSTA VARTEN

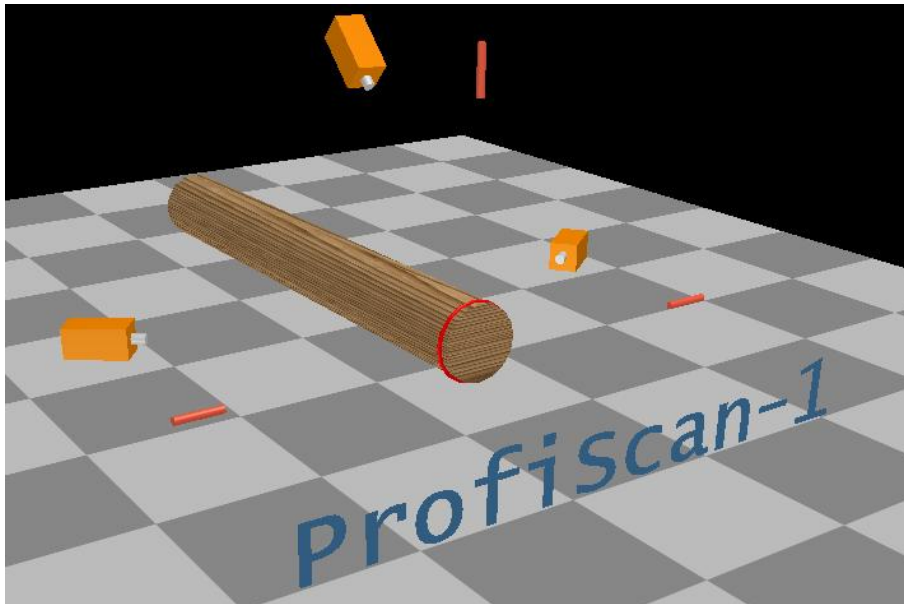
Sahausketjun ensimmäinen vaihe on tukin aseointi sahausta varten. Asemoinnissa sahaukseen saapuva tukki pyöritetään lenkoutensa suhteen oikeaan asentoon saannon optimoimiseksi ja taloudellisen tuoton saavuttamiseksi. Pyörityksen ohjausta varten tukista kerätään optisella mittauksella kolmiulotteinen kuva. Tukkikuvaa pyöritetään mittauslaitteen tietokoneella yleensä 5° välein ja joka vaiheessa tutkitaan saatavien sahatavarakappaleiden mitat. Tukin pyörityskulma määräytyy parhaan tuloksen perusteella. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 2.)

Tukin, pelkan ja saheiden suuntaukset määräävät yksiselitteisesti, miten tukin sisäiset ominaisuudet ja vikaisuudet sijoittuvat lopullisiin sahatavaratuotteisiin, huomioiden saheiden katkaisun lopullisiin tuotemittoihin. Valmiin sahatavaran viat ja ominaisuudet vuorostaan määräävät laatuluokan ja sopivuuden loppukäyttäjälle ja siten kappaleen arvon. Tukin optimaalisessa sahausasennossa kaikkien tukista saatavien sahatavaroiden ja sivutuotteiden nettoarvojen summa on mahdollisimman suuri. (Usenius ym. 2010, 131.)

Tukin aseointiin liittyy myös tukin suuntaus. Tukin suuntauksessa tukki pyritään asettamaan siten, että tukista saatava sahatavaran määrä olisi mahdollisimman suuri. Tukin suuntaus tapahtuu pyöritys- ja suuntauskuljettimella. Eräs suuntaustapa on myös tukin keskitys, missä tukin keskilinja asetetaan yhdensuuntaiseksi sahan keskilinjan kanssa. (Kempainen 2005, 16.)

4.1 Tukin mittaus

Tukkimitareiden toiminta perustuu joko optiseen varjokuvan mittaukseen tai tukin pinnan muodon mittaukseen. Tukin saantoa optimoivissa konenäköjärjestelmissä käytetään lähtökohtaisesti 3D-mittausjärjestelmää, joka on tarkan tukinpyörytyksen kannalta ehdottoman tärkeä. Kolmiulotteinen mittaus perustuu joko lasertekniikkaan, matriisikameroihin, röntgensovelluksiin eli tomografiaan tai näiden yhdistelmiin. (Vesänen 2005, 23.)



KUVIO 5. ProfiScan-1 – tukkimittari (Lisker Oy 2010.)

Kuviosta 5 selviää kotimaisen Lisker Oy:n ProfiScan-1 -tukkimittarin toimintaperiaate. Tukkiin on suunnattu suoraan sivuilta ja päältä viivalaserit ja kamerat on sijoitettu 45° kulmaan viivalasereihin nähden. Kamerat näkevät mitattavan kohteen muodon, mukaan lukien painaumat, kohoumat ja etäisyyden. Tukkimittari tuottaa tukista 3-ulotteisen mallin, jonka perusteella laskettu lenkous ja lenkouden suunta määräävät pyörytyksen. (Lisker Oy 2010.)

Tomografiaan perustuva tukin mittaus tulee olemaan seuraava teknologiahyppy sahateollisuudessa. Tomografiatekniikkaa käytetään jo eräissä sahateollisuuden laitoksissa, jotka palvelevat sopimussuhteessa jatkojalostusteollisuutta. Muodon lisäksi tukin optimoinnin perusteena ovat tukin sisäiset ominaisuudet, kuten oksikkuus, sydänpuu, lahoviat, pihkakolot ja muut laatutekijät. Tukin matemaattinen rekonstruktio perustuu tukin kolmiulotteiseen skannaukseen. Skannaus perustuu röntgenin avulla luotuihin viipalekuviin, joista rakennetaan kuvankäsittelyllä kolmiulotteinen kuva. Haasteena teollisen sovelluksen rakentamisessa on kuitenkin tukin skannaukseen kuluva aika ja korkeat investointikustannukset. (Vesänen 2005, 25.)

4.2 Tukinpyöritysmenetelmät

Pohjoismaisilla sahoilla käytetään neljää erilaista tukinpyöritysmenetelmää, joista perinteinen on käsinpyöritys. Käsinpyörityksessä sahuri arvioi parhaan sahausasennon silmämääräisesti ja pyörittää tukkia tukinpyörityslaitteistolla. Kokemuksesta on hyötyä sopivan sahausasennon arvioinnissa. Menetelmän ongelmana on epätarkkuus, sillä ihmisen silmä väsy nopeasti ja on huono arvioimaan sahausasentoja riittävän tarkasti. Lisäksi silmämääräinen sahausasennon arviointi on työnä yksitoikkoista. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

Toinen menetelmä on optisen mittauksen ja automaattisen tukinpyörityksen yhdistelmä eli automaattipyöritys. Automaattisessa tukinpyörityksessä tukista muodostetaan mittalaitteiston avulla kolmiulotteinen kuva. Kuvaa analysoiva tietokone sovittaa valittua asetetta tukkikuvan sisään ja valitsee sahausasennon, joka tuottaa mahdollisimman pitkät ja leveät sahatavarakappaleet. Tietokone laskee mitatun tukkikuvan ja valitun sahausasennon perusteella pyörityskulman, jonka perusteella tukinpyörittäjä asemoi tukin parhaaseen sahausasentoon.

Kolmas menetelmä on automaatti- ja käsinpyörityksen yhdistelmä, jossa tukin asentoa voidaan korjata automaattipyörityksen jälkeen. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 221–222.)

Neljäs menetelmä on kahden eri tukkimittarin antamaan mittaustulokseen perustuva automaattipyöritys. Ensimmäinen tukkimittari mittaa tukin normaalisti ennen pyöritystä, ja toinen mittaa pelkan muotoa pelkkahakkurin jälkeen. Hakkurin jälkeisen mittarin tavoitteena on havaita mahdollinen systemaattinen pyöritysvirhe määrätyn tukkimäärän perusteella. Jos pyöritysvirhettä on havaittavissa, laskee tukinpyörittäjää ohjaava tietokone ensimmäistä tukkimittaria varten korjauskulman. Mittauslaitteisto ottaa korjauskulman huomioon seuraavan tukin pyörityskulmaa määritettäessä. Tällaisen menetelmän heikkous on se, että menetelmällä korjataan ainoastaan pyörityksen keskiarvoa, ei pyörityksen hajontaa. Hajontavirhe on tekijä, joka riippuu ainoastaan pyöritysmekanismin toimintatarkkuudesta. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

4.3 Tukinpyörityslaitteet

Tukinpyörityslaitteen päätarkoituksena on pitää pyörityskulman hajonta pienenä. Vaikka tukinpyörityslaite on vain pieni osa sahakoneryhmää, se on sahausketjun ensimmäinen ja ehkä tärkein laite. Riippuen pyöritysmenetelmästä, sahalaitoksilla on käytössään eri valmistajien pyörityslaitteita. Yleisesti ottaen kaikilla laitevalmistajilla on oma näkemyksensä parhaasta tukinpyörityslaitteesta erilaisissa sahausympäristöissä. Tukinpyörityslaitteet koostuvat pääasiassa kallistustelakoneista, vertikaalikääntäjistä sekä roottorikääntäjistä. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 222.)

Kallistustelakone eli "tilttirullakone" koostuu joko yhdestä tai kahdesta tukkia vetävästä telaparista. Kallistustelakoneen toiminta perustuu telojen kääntämiseen sahalinjan pituussuunnassa. Kuljetin syöttää tukin pyöriville vetoteloille, jotka sijaitsevat molemmilla puolilla linjaa. Kun tukin latva saapuu telaparin väliin, telat tarttuvat tukkiin ja telojen kallistuminen saa aikaan tukin pyörimisliikkeen. Tukin pyörähdyskulma määräytyy sen ajan perusteella, jonka telat ovat kallistettuina. Yksi tela kääntyy aina vastakkaiseen suuntaan kuin linjan toisen puolen tela. Telat kääntyvät yleensä joko $7,5^\circ$ tai 15° . Tukin pyörimissuunta riippuu telojen kääntösuunnasta. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 222.)

Vertikaalikääntäjän toiminta perustuu samaan ideaan kuin kallistustelakone. Vertikaalikääntäjä koostuu myös yhdestä tai kahdesta telaparista, jotka vetävät tukkia. Toisin kuin kallistustelakoneessa, vertikaalikääntäjässä vastakkaiset telat liikkuvat vastakkaisiin suuntiin pysty akselin suuntaisesti. Tukin pyörähdyskulma määräytyy telojen asennon ja liikkeen ajoituksen mukaan. Tukin pyörimissuunta riippuu telojen liikesuunnasta. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 222.)



KUVIO 7. Vertikaalikääntäjä (AriVislanda 2010.)

Roottorikäntäjiä käytetään sekä tukinpyöryksessä että pelkan kääntämisessä. Roottorikäntäjän toiminta perustuu liukulaakereilla liikkuvaan kehään ja kehän vetoteloihin. Kehällä on teloja joko kaksi tai kolme kappaletta. Tukinpyöryksessä käytetään usein kolmea telaa. Telat tarttuvat tukkiin latvan saapuessa telojen väliin ja tukin pyörytys tapahtuu kehää pyörittämällä. Roottorikäntäjällä voidaan päästä erittäin korkeaan tarkkuuteen, sillä pyörytystä ei tehdä tukin muotoa seuraamalla vaan metallista kehää kääntämällä. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 222.)

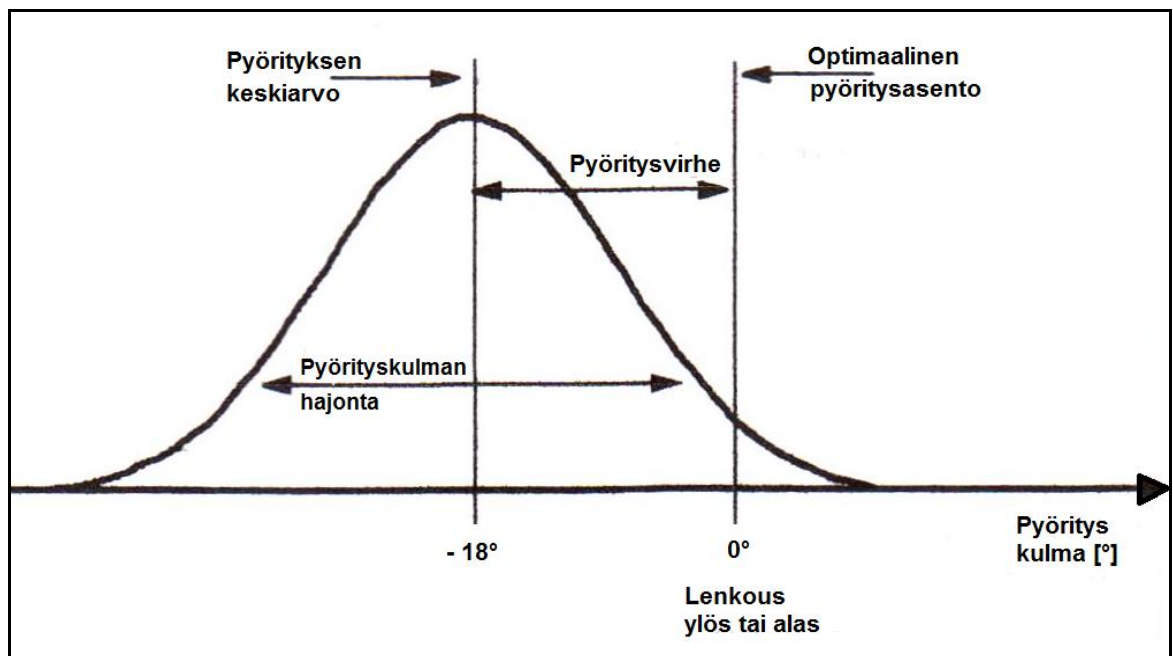
Uusimmat roottorikäntäjät voivat olla varustettuja kahdella telakehällä, jolloin ensimmäinen telakehä suorittaa varsinaisen pyöryksen ja toinen huolehtii tukin keskityksestä pelkkahakkuria varten. Jos pyörytyskulma on yli 90°, voidaan toisen telakehän avulla suorittaa pyörytys loppuun, kun ensimmäinen telakehä valmistautuu seuraavan tukin pyörykseen. (Tulokas & Vuorilehto 2007, 223.)



KUVIO 8. Roottorikäntäjä (AriVislanda 2010.)

4.4 Tukinpyöriytyksen tunnusluvut

Tukinpyöriytyksen tarkkuuden mittaamiseen liittyy joukko tunnuslukuja, jotka ovat tukinpyöriytykselle tyypillisiä. Tunnuslukuja ovat pyöriytysvirhe, pyöriytysvirheen keskiarvo ja pyöriytyskulman hajonta. Tukinpyöriytyksprosessi on ”normaalijakautunut” (KUVIO 9), eli prosessilla on keskiarvo, jonka ympärille yksittäiset pyöriytystulokset jakautuvat. Pyöriytyskulman hajonta taas tapahtuu keskiarvon ympärillä. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)



KUVIO 9. Tukinpyöriytyksen tunnusluvut (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

Pyöriytysvirhe tarkoittaa yksittäisen tukin toteutuneen pyörähdyskulman ja tukkimittarin optimoiman pyöriytyskulman erotusta. Tukille optimaalisin sahausasento ja tukkimittarin optimoima sahausasento eivät ole poikkeuksetta samoja, mutta mitattaessa tukinpyöriittäjän mekaanista tarkkuutta näin on oletettava. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

Pyöritysvirheen keskiarvo kuvaa tukinpyörityksen tarkkuutta eli sitä kuinka hyvin pyöritysprosessi on keskimäärin hallinnassa. Jotta tukinpyöritys olisi hyvin hallinnassa, tulisi pyöritysvirheen keskiarvon olla lähellä nollaa. Keskiarvo ei ota huomioon alkioden suurta vaihtelua. Keskiarvoa voidaan yrittää parantaa laitteiston kalibroinnilla tai korjauskertoimen avulla. Käytössä on myös erilaisia takaisinkytkentäratkaisuja, joissa pelkkamittari mittaa tukinpyöritysprosessin onnistumista ja korjaa järjestelmällistä pyöritysvirhettä automaattisesti. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

Pyörityskulman hajonta kuvaa tukinpyörittäjän mekaniikan toimivuutta. Pyörityskulman hajonta saadaan laskemalla yksittäisten pyöritysvirheiden muodostamasta joukosta keskihajonta. Kun hajonta on pieni, toimii pyörittäjä hyvin. Hajonta kuvaa prosessin toistettavuutta eli sitä, miten hyvin pyöritys on hallinnassa. Esimerkiksi 15° hajonta tarkoittaa, että 66 % tukinpyörityksistä osuu alueelle, jonka laajuus on $\pm 15^\circ$ keskiarvon ympärillä. Vastaavasti 95 % tukinpyörityksistä osuu alueelle, jonka laajuus on $\pm 30^\circ$ keskiarvon ympärillä. Pyörityskulman hajontaan voidaan vaikuttaa vain parantamalla pyöritysmekaniikan toimintaa. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6-7.)

5 TUKINPYÖRITYKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kaikki tukit ovat muodoltaan erilaisia, ja jokainen tukki sahataan omassa asennossaan saannon maksimoimiseksi. Tukkiyksilöt käyttäytyvät tukinpyörityksen aikana usein eri syistä eri tavoin. Myös kaikki tukinpyöritysjärjestelmät kuljettimiseen, tukinpyöritysmekanismeineen ja mittausjärjestelmineen ovat erilaisia, ja pyörityksessä käytettävät ohjausparametrit vaihtelevat sahakohtaisesti. Kuten muissakin sahauksen osaprosesseissa, esiintyy myös tukinpyörityksessä suuri joukko erilaisia riippuvuuksia koneteknisten tekijöiden ja ohjausparametrien välillä. Nämä tekijät yhdessä johtavat kokonaisprosessin onnistumiseen tai epäonnistumiseen. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

5.1 Tukin geometria

Tukkiyksilöiden vaihteleva geometria vaatii tukinpyörityslaitteistolta paljon. Pyörityslaitteiston tulee pyörittää tarkasti niin pienet ja kevyet kuin suuret ja painavatkin tukit. Tukin muoto voi vaihdella lähes suorasta tukista moniväärään tukkiin, ja vaativuutta lisäävät tukkien kartiokkuus, soikeus, tyvilaajentumat sekä oksakyhmyt. Onnistuneeseen pyöritykseen vaikuttavat myös tietyt vuodenajasta riippuvat muuttujat, kuten luminen, jäätynyt tai sula tukki. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

Tukit voidaan jakaa muotonsa mukaan kolmeen ryhmään. Ensimmäisen ryhmän muodostavat suorat ja sileät tukit. Sahauksessa tukin asennolla ei ole saannon kannalta suurta merkitystä. Pyöritysmekaniikan tärkeimmäksi tehtäväksi jää tukea tukkeja siten, että sahaan syöttäminen tapahtuu heilumatta ja suoraan.

Tukin mittauslaitteiston on pystyttävä tunnistamaan suorat ja sileät tukit huolimatta siitä, ettei yksikään tukki ole matemaattisesti suora. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

Toisen ryhmän muodostavat selvästi yhteen suuntaan lengot tukit. Suurin sallittu lenkous tukkien lajittelussa on yleensä 1 cm metrin mittaisella matkalla. Lengon tukin virheellinen suuntaus huonontaa sahaustulosta nopeasti. Tällaisten tukkien sahausasennon tunnistaminen on kuitenkin helppoa, mikä yksinkertaistaa tukkien käsittelyä. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

Kolmannen ryhmän muodostavat useaan suuntaan väärät ja monimuotoiset tukit, joiden sahausasennon määrittäminen on vaivalloista. Tällaisille tukeille löytyy monta samanarvoista sahausasentoa, joiden erottaminen toisistaan on hankalaa. Paras ja huonoin sahausasento saattavat löytyä hyvin läheltä toisiaan. Optimointiohjelman on laskettava moniväärän tukin asento tapauskohtaisesti, eikä parasta sahausasentoa voida määrittää yksiselitteisesti. Monimuotoisten ja -väärien tukkien pyöritystapahtumaa voi usein vaikeuttaa tukin kyhmyinen ja epäsäännöllinen pinta. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

5.2 Tukinpyörittäjän mekaniikka

Tukinpyörittäjän mekaaninen toteutus vaikuttaa merkittävästi pyörityksen onnistumiseen. Pyörityskulman hajonta on suoraan riippuvainen pyöritysmekaniikan luotettavuudesta. Pyöritysvirhettä voi syntyä, jos pyörittäjä on väljä, pyörittäjän telat eivät saa tukista kunnon otetta tai jos pyöritys alkaa ennen kuin tukki on pyöritystelojen otteessa. Jos pyörittäjä on "sohlo", sen pyörityskulman hajonta pysyy suurena, vaikka keskiarvoa saataisiinkin korjattua enemmän kohdalleen. (Vuorilehto & Tulokas 2004, 6.)

5.3 Kuljettimet

Erilaisista kuljetinratkaisuista riippuen tukki saattaa heilahtella kuljettimella. Pyöritystä ajatellen tukin heilahtelu tarkoittaa sitä, että tukin asento mittauksen aikana voi olla erilainen kuin juuri ennen pyörityksen alkamista. Vaikka tukinpyörittäjä onnistuisikin pyörityskäskyn toteuttamisessa täydellisesti, ei muuttuneessa asennossa oleva tukki ole parhaassa sahausasennossa. Pahimmassa tapauksessa tukki muuttaa asentoaan mittauksen aikana, jolloin mittaustulos on vääristynyt. Myös kuljettimien kolien ja ketjujen vaikutus tukinpyörityksen onnistumiseen on otettava huomioon. Terävät kuljettimen osat voivat tarttua tukkiin tiukasti kiinni, ja osa tukinpyörittäjän mekaniikan liikkeestä saattaa kulua tukin irrottamiseen kuljettimesta. Tämä osaltaan muuttaa tukin optimaalista sahausasentoa. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 3.)

5.4 Tukkiluokka, linjanopeus ja telapaine

Tukkiluokalla, linjanopeudella ja telapaineella on myös vaikutuksensa pyörityksen onnistumiseen. Vuorilehdon ja Tulokkaan (2005, 4.) mukaan tukkiluokka vaikuttaa pyöritystulokseen yleisesti siten, että suuremmilla tukeilla pyörityskulman hajonta on pienempi kuin pienemmillä. Yleensä suurempaa tukkiluokkaa sahataan kuitenkin selvästi pienemmällä linjanopeudella kuin pientä, joten tukkiluokan yhteys pyörityskulman hajontaan ei ole selvä. Eroavaisuus hajonnassa voi johtua pelkästään linjanopeudesta. Lähes samalla linjanopeudella sahattaessa pienemmän tukkiluokan pyöritys on yleensä tarkempaa suurempaan tukkiluokkaan verrattuna. Tukinpyörittäjän mekaniikan on siis helpompi pyörittää pientä tukkia, kun taas suuremman tukin pyörityskäskyä mekaniikka ei välttämättä jaksa toteuttaa.

Linjanopeuden alentamisella on parantava vaikutus tukinpyöryksen tarkkuuteen. Nopeuden alentaminen vaikuttaa myös parantavasti tukin vakauteen kuljettimella. Linjanopeuden muutos vaikuttaa pyörytskulman hajontaan, mutta pyörytsvirheen keskiarvoon sillä ei ole merkittävää vaikutusta. Ajamalla tiettyä tukkiluokkaa usealla eri syöttönopeudella voidaan kyseiselle tukkiluokalle löytää optimaalisin linjanopeus pyörytsstarkkuuden suhteen. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 4.)

Kallistustelapyöryttäjää käytettäessä suurin yksittäinen ongelma pyörytsksessä on pyörytsstelojen lipsuminen. Tähän ongelmaan voidaan vaikuttaa muuttamalla telapainetta. Telapaine vaikuttaa tukkia puristavien telojen puristusvoimaan. Puristusvoiman kasvaessa kallistustelat eivät lipsu niin paljon kuin pienemmällä puristusvoimalla. (Vuorilehto & Tulokas 2005, 4.)

6 TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MITTAUS

Junnikkala Oy:n sahalinjan tukinpyöriytyksen toimivuutta ei ole aikaisemmin kokeellisesti todennettu. Tukkimitari käyttää laskentaperusteenaan tukin muotoa siten, että tukin lenkous tulisi olla pyöriytyksen päätyttyä kupera puoli ylöspäin. Kun tukinpyöriytystä tarkastellaan silmämääräisesti, voidaan todeta mittarin ”ymmärtävän” tukin lenkouden oikein. Tutkimuksen pyöriytyskokeissa ei kuitenkaan puututa pyöriytyksen oikeellisuuteen esimerkiksi tukin lenkouden kannalta, vaan keskitytään pyöriytyksen tarkkuuden mittaamiseen. Pyöriytystarkkuutta mitattiin eri tukkiluokilla ja linjanopeuksilla.

Tukinpyöriittäjän tarkkuutta määritettiin vertaamalla tukkimittarin optimoimia ja pyöriytyksessä toteutuneita kulma-arvoja keskenään. Yksittäisen pyöriytyksen pyöriytysvirhe Δ laskettiin toteutuneen kulma-arvon ja tukkimittarin optimoiman kulman erotuksesta:

$$\Delta = (| Ra_{Mat} | - | Ra_{Opt} |) \quad (1)$$

jossa Ra_{Mat} = pyöriytyksessä toteutunut kulma-arvo yksittäiselle tukille ja Ra_{Opt} = tukkimittarin optimoima kulma-arvo yksittäiselle tukille. Erotuksen perusteella laskettiin myös tarkasteltavalle tukkijoukolle pyöriytyksen onnistumista kuvaavat tunnusluvut, pyöriytysvirheen keskiarvo \bar{X} ja pyöriytyskulman hajonta s .

Pyöriytysvirheen keskiarvo tarkasteltavalle tukkijoukolle saadaan laskettua keskiarvon kaavalla 2:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum \Delta \quad (2)$$

Pyörityskulman hajonta s tarkasteltavalle tukkijoukolle lasketaan keskihajonnan kaavalla 3:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\Delta - \bar{X})^2} \quad (3)$$

jossa n = tukkien lukumäärä ja Δ = pyöritysvirhe yksittäiselle pyöritykselle. (Tulokas & Tannous 2010, 143–144.)

Mittaustulokset koostuvat kahdesta mittaustapahtumasta, jotka suoritettiin Kalajoen sahalla kesän ja syksyn 2010 aikana. Mittauksissa käytettiin useamman, selvästi poikkeavan tukkiluokan tukkeja. Erilaisia tukkiluokkia mitattiin yhteensä 4 kappaletta, joiden laajuus oli 16–30 tukkia per luokka. Tukkeja mitattiin yhteensä 115 kappaletta. Linjanopeus vaihteli tukkiluokan mukaan välillä 50 – 90 m/min.

6.1 Kalajoen sahan tukinpyöritysjärjestelmä

Junnikkala Oy:n Kalajoen sahan tukinpyörittäjä on malliltaan yksiparinen kallistustelapyörittäjä (KUVIO 10), jonka on toimittanut kotimainen Sakola Oy. Tukinpyörittäjää ohjaa kotimaisen Lisker Oy:n toimittama tukkimittari. Tukkimittarin toiminta perustuu optiseen varjokuvan mittaukseen. Tukinsuuntausjärjestelmä on otettu käyttöön vuonna 1998 sahalinjan uusimisen yhteydessä.



KUVIO 10. Kalajoen sahan tukinpyörittäjä

Redusoinnin ja kuorinnan jälkeen tukki annostellaan mittauskuljettimelle, missä se mitataan kahdesta suunnasta tapahtuvalla mittauksella. Tämän mittauksen perusteella määritellään tukista latvan sijainti ja lengon asento, jotka määräävät tukin pyöryksen. Samalla määritetään myös sopiva asete kyseessä olevalle tukille. Kun tukin latva saapuu telaparin väliin, telat sulkeutuvat ja kääntyvät tukkimittarin määräämään astekulmaan. Telojen ote pysyy kiinni koko käännön ajan. Tukkia ei pysäytetä käännön ajaksi, vaan kääntö tapahtuu tukin edetessä linjanopeutta.

Mittauslaite koostuu kahdesta viivakamerasta ja kahdesta loisteputkivalaisimesta. Tukin läpimitta lasketaan erikseen kummassakin mittaussuunnassa kameran näkemän tukin varjokuvan perusteella. Tukin lenkous määritetään tukin keskilinjan suurimman poikkeaman avulla, ja tilavuus lasketaan molempien mittaussuuntien läpimittojen keskiarvosta. Pituus mitataan valokennojen ja pulssianturin avulla. Mittaustiedot saadaan mittausjärjestelmän tietokoneelta (KUVIO 11).



KUVIO 11. Mittaustietokoneen näkymä

Tietokone antaa seuraavat tiedot:

- Latvaläpimitta (mm)
- Pituus (m)
- Kartiokkuus (mm/m)
- Lenkous (mm/m)
- Lenkouden kulma (°)
- Tilavuus (m³)
- Pyöritysmatka (cm)

Tietokone siirtää latvan sijaintitiedon ja lengon astekulman tukinpyörittäjää ohjaavalle logiikalle. Tukin latvan saapuessa telaparin väliin ohjataan telapari kiinni tukkiin. Ohjaussignaalin telaparille antaa valokenno. Tukkia pyöritetään optimointiohjelman määräämän astekulman mukaan. Pyöritys tapahtuu kallistamalla teloja sahalinjan pituussuunnassa. Kallistus tehdään pneumaattisilla sylintereillä, joita on yksi molemmilla puolilla. Tukin latvan edessä sivukeskityspyörät sulkeutuvat ja yläpainopyörä laskeutuu alas. Keskityksen jälkeen pyöritystelat ja käytöttömät keskityspyörät ohjataan irti tukin pinnasta.

Mittauskuljettimen nopeutta voidaan muuttaa portaattomasti 40–100 m/min välillä taajuusmuuttajilla. Pyörityslaitteen vetotelat saavat käyttövoiman omilta sähkömoottoreiltaan ja niiden nopeutta voidaan muuttaa taajuusmuuttajien avulla. Sivukeskityspyörät ja yläpainopyörä pyörivät vapaasti ja niiden liikkeen ohjaus tapahtuu pneumaattisten sylintereiden avulla.

6.2 Mittausmenetelmä

Käytännön mittaus työ suoritettiin Veisto Oy:n ohjeistaman mittausmenetelmän mukaan. Mittausmenetelmä perustui koejärjestelyssä yhden digitaalisen videokameran käyttöön. Tukinpyörittäjän tarkkuutta selvitettiin analysoimalla videolta kaapattuja pysäytyskuvia. Mittauslaitteisto koostui digitaalisesta videokamerasta ja mittaus työtä varten rakennetusta kuvaustelineestä. Kamera asennettiin mittauskuljettimen yläpuolelle sopivaan pisteeseen (KUVIO 12), josta koko pyöritysprosessi oli kuvattavissa. Lisäksi työssä käytettiin apuna radiopuhelinta, jolla pidettiin yhteyttä sahurin ja kuvauspisteen välillä.



KUVIO 12. Videokamera ja kuvausteline

Mittaustyö aloitettiin kiinnittämällä mitattavien tukkien tyvipäihin paperille tulostetut suuntanuolet (KUVIO 13), jotka numeroitiin juoksevasti. Suuntanuolien kiinnitys tapahtui sahasyötön puskurivarastona toimivan sivusiirtokuljettimen päällä, josta tukit syötetään sahalinjaan yksi kerrallaan. Videokameran tarkoituksena oli kuvata jokainen yksittäinen pyöritystapahtuma ja jokainen suuntanuoli yksittäisten tukkien päistä.

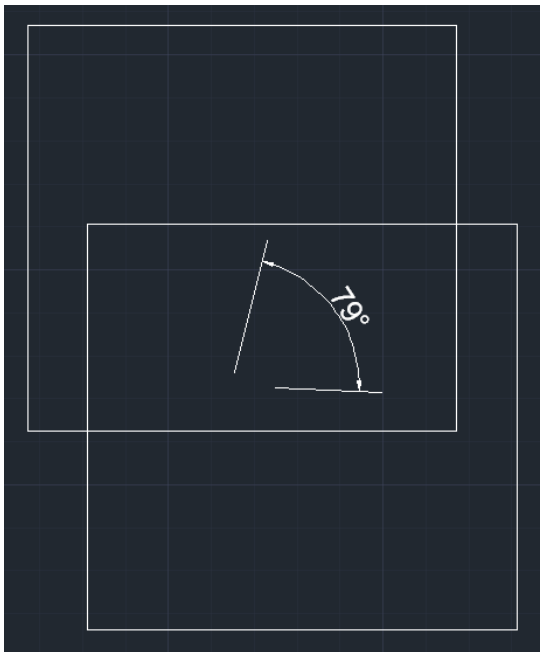


KUVIO 13. Suuntanuoli tukin tyvessä

Videokuvasta saatiin kaapattua jokaiselle yksittäiselle pyöritykselle kaksi pysäytyskuvaa, toinen ennen pyörityksen alkamista ja toinen heti pyörityksen jälkeen. Pysäytyskuvia vertailtiin AutoCAD – vektorigrafiikkaohjelman avulla. Kuvat järjestettiin kuvapareittain (KUVIO 14) ja kuvissa näkyvien suuntanuolien päälle piirrettiin viivat. Saaduista viivapareista voitiin todeta suuntanuolen asennon muutos ja mitata toteutunut pyörityskulma (KUVIO 15).



KUVIO 14. Pysäytyskuvat ennen ja jälkeen pyöriksen



KUVIO 15. Toteutuneen pyörähdyskulman mittaaminen

6.3 Mittausmenetelmän tarkkuus

Mittausmenetelmä perustuu digitaalisiin pysäytyskuviin, joita otetaan ennen pyöritystä ja pyöriksen jälkeen. Tukin tyvestä ei saatu aivan kohtisuoraa pysäytyskuvaa, koska kamera sijoitettiin linjan yläpuolelle. Kahta ei-kohtisuoraa kuvaa verratessa syntyy hieman virhettä, jonka suuruutta on hankala määrittää.

Lisäksi tukki kulkee mittauksen läpi pyörykseen kuljettimella, joka paitsi liikuttaa tukkia eteenpäin, myös heiluttaa sitä. Ennen pyörystä otetussa kuvassa tukin asento ei välttämättä ole sama kuin sen kohdatessa pyöryslaitteiston. Tämä voi vaikuttaa pyörystulokseen, ja siten myös mittaustulokseen. Tukin tyvi ei koskaan ole aivan suora, eikä tukin runkokaan ole koskaan aivan pyöreä ja suora.

Tukkien tyviin kiinnitettyjen suuntanuolien paksuudet vaihtelivat välillä 1 cm – 3 cm. Pysäytyskuvia käsiteltäessä kävi ilmi, että suuntanuolen paksuudella on suuri merkitys nuolen suuntaa määrittäessä. Paperille tulostetun nuolen etuna on ääri viivojen tarkkuus, mikä helpottaa suuntanuolen päälle piirrettävän viivan asettelua. Mittausmenetelmän tarkkuuden määrittämisen tekee ongelmalliseksi kuitenkin se, että suuntanuolen suunnan määrittäminen tapahtuu ihmissilmällä. Eri ihmisten tulkinnat oikeasta suunnasta voivat vaihdella, ja tästä syntyneitä virheitä on hankala määrittää. Ainoa keino mittausmenetelmän tarkkuuden määrittämiseen on eri ihmisten avulla suoritettava toistokoe. Käytetyn menetelmän tarkkuudeksi on arvioitu $\pm 2^\circ$ (Kemppinen 2005, 44.).

7 MITTAUSTULOKSET

Pyörityskokeessa mitattiin 5 erää, joissa oli yhteensä 115 tukkia. Mittauksissa käytettiin taulukon 1 mukaisia mittausparametreja. Sarakkeessa "Tukkiluokka" olevat numeroarvot kertovat erässä sahattujen tukkien minimilatvahalkaisijan. Käytetyt linjanopeudet ovat mitatuille tukkiluokille yleisiä nopeuksia.

TAULUKKO 1. Käytetyt mittausparametrit

Erä	Tukkimäärä	Tukkiluokka	Linjanopeus
1	30	Kuusi, 170 mm	90 m/min
2	30	Kuusi, 250 mm	65 m/min
3	16	Mänty, 270 mm	50 m/min
4	29	Mänty, 140 mm	90 m/min
5	10	Mänty, 140 mm	90 m/min

Erä 5 on niin sanottu toistotesti, jossa selvitettiin tukkimittarin toimivuutta. Toistotestissä mitattiin samaa tukkia 10 kertaa peräkkäin, ja jokaista mittausta varten tukin asentoa muutettiin hieman. Tukkimittari ilmoitti pyörityskulmaksi kaikilla mittauskerroilla likipitään saman asennon, jolloin voitiin todeta mittauksen toimivan tyydyttävästi.

Taulukossa 2 on esitetty tutkimuksen tulokset mittauserittäin tarkasteltuna. Liitteestä 1 löytyvät mittausten tulokset tukeittain.

TAULUKKO 2. Mittaustulokset

Tulokset mittauserittäin	Pyöritysvirheen keskiarvo			Pyörityskulman hajonta		
	kaikki	+	-	kaikki	+	-
Erä 1	- 14,3°	- 23,3°	- 8,9°	20,9°	25,4°	15,4°
Erä 2	- 6,3°	- 6,8°	- 5,7°	14,6°	16,2°	13,2°
Erä 3	- 31,5°	- 26,9°	- 41,6°	26,3°	29,2°	16,1°
Erä 4	- 11,8°	- 17,0°	- 6,9°	18,0°	21,0°	13,5°
Erä 5	- 4,0°	- 4,6°	- 2,7°	14,3°	14,8°	16,0°

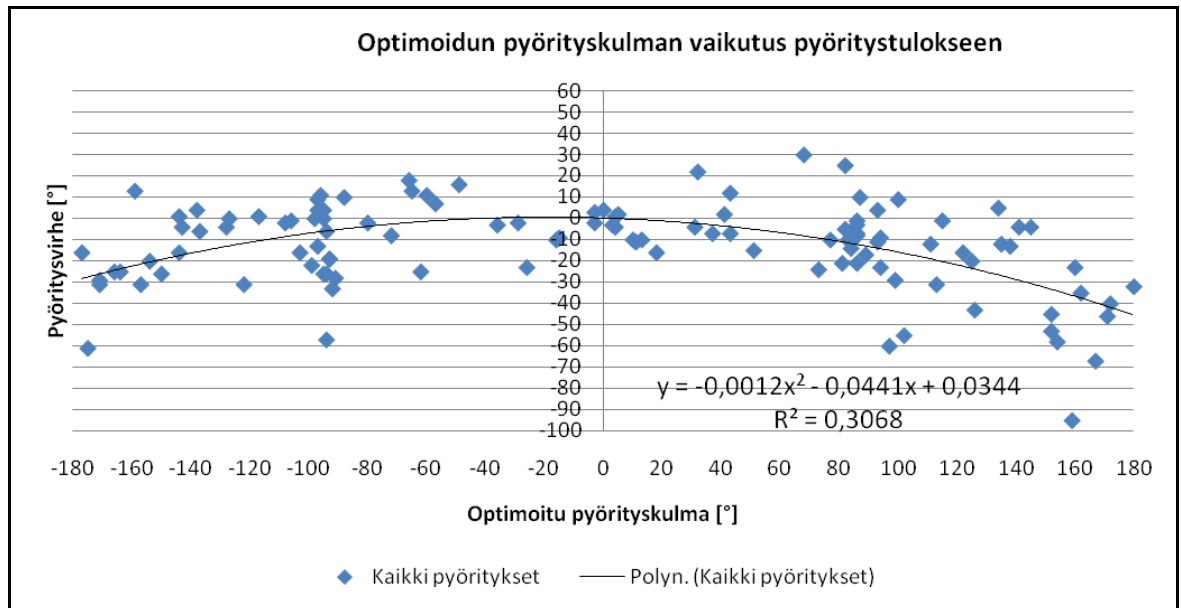
Taulukon 2 (+) – sarakkeiden numeroarvot kuvaavat pelkästään myötäpäivään pyörityksiä ja (-) – sarakkeiden arvot vastapäivään pyörityksiä.

7.1 Mittaustulosten analysointi

Kokonaisuudessaan Kalajoen sahan tukinpyörityksen tarkkuus on heikko. Keskimääräinen pyöritysvirheen keskiarvo on -13° ja pyörityskulman hajonta 20° .

Tuloksissa on huomattavaa eräkohtaista vaihtelua. Pyöritysvirheen keskiarvo vaihteli välillä $-31,5^{\circ} - -4^{\circ}$. Pienimmät arvot pyörityskulman hajonnalle saatiin erissä 5 ja 2. Suurin hajonta, jopa $26,3^{\circ}$, saatiin erässä 3. Erän 2 parempi tulos on osittain selitettävissä tukkiluokalla, sillä nämä tukit ajettiin tiukahkon redusoinnin läpi, minkä johdosta tukit olivat lähes ”solvattuja”. Suhteellisen suorista tukeista tukinpyörittäjä suoriutui siis hyvin. Erän 3 suurissa tukeissa oli havaittavissa tyvilaajentumaa, minkä vuoksi tulos on tällöin heikoin. Erän 5 tapauksessa täytyy ottaa huomioon otosten määrä ja se, että erässä mitattiin pelkästään yhtä tukkia. Erikseen myötä- ja vastapäivään pyörityksille lasketut tulokset poikkeavat molemmille pyörityssuunnille yhdessä lasketusta arvosta. Vastapäivään pyöritys onnistuu hieman myötäpäivään pyöritystä paremmin (TAULUKKO 2).

Tukinpyörityksessä on myös huomattavaa alipyöritystä. Mitatut pyöritysvirheen arvot on sijoitettu diagrammiin, josta ilmenee optimoidun pyörityskulman vaikutus pyöritystulokseen (KUVIO 16). Diagrammiin on lisätty trendiviiva, joka kuvaa optimoidun pyörityskulman ja pyöritysvirheen keskimääräistä yhteyttä. Diagrammiin on lisätty myös trendiviivan yhtälö sekä korrelaatiokerroin.



KUVIO 16. Optimoidun pyörityskulman vaikutus pyöritystulokseen

Suuren pyörityskulman hajonnan takana on tukinpyörittäjän mekaniikka. Tukinpyörittäjä ei pysty toteuttamaan optimoituja pyörityskäskyjä riittävän tarkasti. Huono pyöritystulos korostuu varsinkin suurilla ja lengoilla tukeilla (TAULUKKO 2). Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei suuri pyörityskulman hajonta riipu ainoastaan pyörityslaitteiston mekaniikasta. Kuvioista 16 selviää, että optimoidulla pyörityskäskyllä ja pyöritysvirheellä on jonkinlainen yhteys. Pyöritysvirhe kasvaa optimoidun pyörityskulman suureudessa. Trendiviivan korrelaatiokertoimen mukaan ($r^2 = 0,3068$) optimoidun pyörityskulman ja pyöritysvirheen välinen yhteys on verrattain kohtalainen. Pyöriykset onnistuvat kuitenkin saatujen tulosten perusteella hyvin pyörityskäskyn ollessa välillä $\pm 80^\circ$.

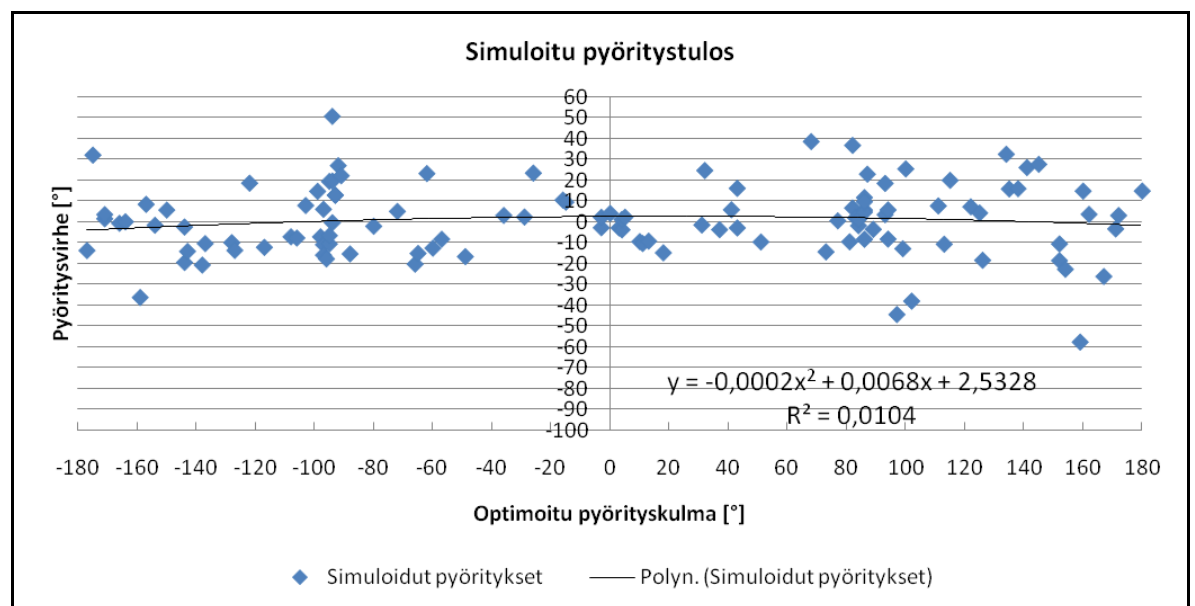
Mittaustulosten perusteella voidaan määrittää simuloitu pyöritystulos, jonka avulla voidaan arvioida tukinpyörityslaitteiston ohjauksen vaikutusta pyöritystarkkuuteen. Simuloinnilla voidaan saada vastaus siihen mihin tukinpyörittäjän mekaniikka teoriassa pystyisi, jos sitä ohjattaisiin paremmin.

Simulointi suoritetaan laskemalla kuvitteelliset korjaukset tukkimittarin laskemaan pyörittäjän mekaniikan ohjaukseen. (Kemppinen 2005, 64.)

Kuvion 15 trendiviivalle määritetty toisen asteen yhtälö:

$$y = -0,0012x^2 - 0,0441x + 0,0344 \quad (4)$$

Trendiviivasta saatuun yhtälöön sijoitetaan x:n paikalle optimoitu kulma-arvo. Yhtälöstä saatu tulos on lisätty negatiivisiin todellisiin pyöriytyksiin tai vähennetty positiivisista todellisista pyöriytyksistä. Saadusta simuloidusta pyöriytykskulmasta vähennetään optimoitu pyöriytykskulma, jolloin erotukseksi saadaan simuloitu pyöriytyksvirhe. Simuloinnin tulos ilmenee kuviosta 17. (Kemppinen 2005, 64–65.)



KUVIO 17. Simuloitu pyöriytystulos

Simuloinnin jälkeen pyöriytyksvirheen keskiarvo on hieman alle 1° ja hajonta 17°. Teoriassa olisi mahdollista siis pelkkää tukinpyöriytyksen ohjausta muuttamalla parantaa pyöriytykskulman hajontaa 3°. Hajonta on kuitenkin edelleen suuri, mikä johtuu tukinpyöriytyttäjän mekaniikasta.

7.2 Johtopäätökset

Kokonaisuudessaan Junnikkala Oy:n Kalajoen sahan tukinpyöritys on huonosti hallinnassa. Heikon pyöritystuloksen syitä pohdittaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon käytössä olevan tukinpyörittäjän ikä ja mekaaninen toteutus. Nykyinen yksiparinen kallistustelapyörittäjä ei välttämättä kykene nykyaikaisten tukinpyörittäjien, esimerkiksi roottorikäntäjien, tarkkuuteen. Tietynlaisilla mekaanisilla ratkaisuilla voidaan päästä jo lähtökohtaisesti parempaan tulokseen kuin toisilla. Yksiparinen kallistusteloilla toimiva tukinpyörityslaitteisto vaatii myös ohjaukselta huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi roottorikäntäjä.

Tukinpyörittäjä on mekaanisesti hyvässä kunnossa. Eräs huomion arvoinen seikka löytyy kuitenkin telojen kallistuksen toteutuksesta. Tukinpyörittäjän kallistustelojen liike on toteutettu pneumaattisien sylintereiden avulla (KUVIO 18), jolloin telapaine on riippuvainen sahalaitoksen paineilmajärjestelmän paineesta. Esimerkiksi särmäyksikön ohjauslaitteita on kytketty samaan paineilmajärjestelmään tukinpyörittäjän kanssa, jolloin hetkelliset painehäviöt ovat mahdollisia laitteiden toimiessa samanaikaisesti. Kallistustelakäntäjän heikkous on telojen lipsuminen, joka korostuu telapaineen laskiessa. Ilmanpaineesta aiheutuvia ongelmia ilmenee kuitenkin harvoin. Yksi mahdollisuus olisi muuttaa tukinpyörittäjän mekaaninen ohjaus toimimaan servohydraulisesti, jolloin kallistustelojen ja ohjauspyörien liikkeen tarkkuus paranisi. Toisaalta pneumatiikallakin on etuja, joita ei hydraulikalla välttämättä saavuteta.



KUVIO 18. Tukinpyörittäjän kallistustelaa ohjaava pneumaattinen sylinteri

Tukinpyörittäjä ei kuitenkaan ole yksin syyllinen suureen pyörityskulman hajontaan. Pyöritysvirheen havaittiin kasvavan optimoidun pyörityskäskyn suuressa. Tukin mittauksen todettiin toimivan riittävän hyvin, mutta tukinpyörittäjän ohjauksessa ilmeni puutteita. Optimoinnin antamat pyörityskäskyt tulisi olla määritettävissä tarkemmin. Pyörittäjän tarkkuutta olisi siis teoriassa mahdollista parantaa tarkemmilla ohjauksikäskyillä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin nykyisen ohjauksen muokkaaminen, sillä tukinpyörittäjän ohjauksikäskyjä ei voida määrittää riittävän tarkasti.

Tutkimustyön tavoitteena oli tukinpyörittäjän tarkkuuden mittaamisen lisäksi pohtia mahdollisuuksia tarkkuuden parantamiseksi. Tukinpyörittäjän toimivuutta voitaisiin parantaa ohjausta päivittämällä, mutta muutostyöhön nähden hyöty olisi pieni. Pidemmällä aikavälillä suuremman hyödyn toisi koko tukinpyörittäjälaitteiston uusiminen. Vaihtoehto nykyiselle tukinpyörittäjälle voisi olla kahdella telaparilla toimiva kallistustelapyörittäjä tai roottorikäntäjä.

8 POHDINTA

Kiristyvän kilpailutilanteen vuoksi sahalaitosten tulisi sahata laadukasta sahatavaraa mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Myös tukinpyörittäjämerkitys sahan taloudellisen tuloksen muodostumisessa on suuri. Raaka-aine muodostaa suurimman osan tuotantokustannuksista, minkä vuoksi tukin virheellinen asemointi heikentää sahan taloudellista tulosta huomattavasti. Lähitulevaisuudessa tukkien optimointi arvon mukaan tulee myös yleistymään. Tomografiaan perustuvia tukkimittareita on jo käytössä suomalaisilla sahoilla.

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että tukinpyörittäjän tekemän pyörittäjävirheen vaikutus Junnikkala Oy:n Kalajoen sahan saantoon on huomattava. Tukinpyörittäjä on malliltaan yksiparinen kallistustelapyörittäjä, joka ei kykene kilpailemaan tarkkuudellaan uusimpien tukinpyörittäjien kanssa. Tukinpyörittäjän pyörittäjästarkkuus on heikko, mikä johtuu pyörittäjän mekaniikasta. Kun käytössä on automaattinen tukinpyörittäjämenetelmä, tulisi tukinpyörittäjälaitteistolla päästä pienempään pyörittäjäkulman hajontaan. Tukinpyörittäjää ei voida kuitenkaan yksin syyttää huonosta tuloksesta, sillä optimoinnillakin huomattiin olevan vaikutuksensa tulokseen. Suurin syyppää huonoon tulokseen on kuitenkin itse pyörittäjä.

Junnikkala Oy:n Kalajoen saha on erikoistunut järeän havupuun käsittelyyn, mikä vaatii myös järeää tukinpyörittäjää. Nykyisen tukinpyörittäjän heikkous on kallistustelosten lipsuminen, mikä korostuu varsinkin suurilla ja lengoilla tukeilla. Pyörittäjävirheen keskiarvoa olisi mahdollisuus parantaa nykyistä kokoonpanoa kehittämällä, mutta pyörittäjäkulman hajonnan parantaminen vaatii suurempaa muutostyötä. Myös tulevaisuuden vaatimuksia ajatellen optimointilaitteiston kehittämisestä olisi hyötyä.

Linjanopeuden, tukkiluokan ja telapaineen vaikutusta pyöritystulokseen ei tutkittu, eikä näitä tekijöitä voida saatujen tunnuslukujen perusteella yhdistää tuloksiin. Tuloksien perusteella saatiin kuitenkin selkeä kuva pyörityksen tarkkuudesta. Jatkotutkimuksissa olisi hyödyllistä mitata tukkiluokan ja linjanopeuden vaikutuksia pyöritystarkkuuteen.

Tutkimustyön läpivienti opetti paljon tukin optimoinnista ja sahaustekniikasta. Mittaustulosten käsittelyssä hyödynsin koulussa opittuja ohjelmien käsittelytaitoja, mikä nopeutti työn etenemistä olennaisesti. Mittaustulosten käsittely vie paljon aikaa, joten aikaa kannattaa tällaista mittausprojektia varten varata riittävästi. Tukinpyörityksen tunnuslukujen laskemisessa hyödynnettiin taulukkolaskentaohjelmaa, joka on myös tärkeä työkalu mittadatan hallinnassa ja käsittelyssä.

Junnikkala Oy:n Kalajoen sahan tukinpyörityksen toimivuudesta saatiin selkeä kuva, jota voidaan käyttää pohjatietona sahalinjan tukkioptimoinnin parantamisessa. Tulevaisuudessa tukin optimoinnin merkitys tulee kasvamaan, mikä tulee näkymään myös Junnikkalan optimointi- ja sahauslaitteistossa. Uskon mittaustuloksista olevan hyötyä mahdollisten laitehankintojen suunnittelussa.

LÄHTEET

AriVislanda. 2010. Log Turner LT-2. Tuote-esite.

AriVislanda. 2010. Log Turner VLT-600. Tuote-esite.

Janatuinen, A. 2010. Sahateollisuus kamppailee korkeiden kustannusten kanssa. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/sahajalevy/Sivut/default.aspx>. Luettu 25.11.2010

Junnikkala Oy. 2009. Ekotase.

Kemppinen, O. 2005. Tukin asemointi sahausta varten. Diplomityö. Teknillinen Yliopisto. Puutekniikan laitos. Lappeenranta.

Lisker Oy. 2010. Tuote-esitteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lisker.fi/fi/tuotteet/profiscan1>. Luettu: 28.11.2010.

Metsäteollisuuden Tilastopalvelu. 2010. Yli puolet havusahatavaran tuotannosta viedään. Www-dokumentti. Saatavissa:

http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/sahateollisuus/Julkinen-FI/g20SahatavaraVuositain_002.ppt. Luettu: 25.11.2010.

MTK. 2010. Puukaupan hintatiedot. Www-dokumentti. Saatavissa:

http://www.mtk.fi/metsa/puukauppa/fi_FI/puukauppa_etu/. Luettu: 25.11.2010.

Tulokas, T. & Vuorilehto, J. 2007. Improvement Potential in Log Rotation. *Baltic Forestry* Vol. 13, 221-227.

Tulokas, T. & Tannous, J. 2010. Research Method and Improvement of Log Rotation in Sawmills. *Silva Fennica* 44, 141-154.

Tulokas, T. 2010. Sähköpostihaastattelu 10.11.2010.

Usenius, A. & Heikkilä, A. & Song, T. & Fröblom, J. & Usenius, T. 2010. Joustavat ja itseoppivat tuotantojärjestelmät sahaateollisuudessa. VTT. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2544.pdf>. Luettu: 4.11.2010.

Usenius, A. 2009. Itseoppivat ja joustavat tuotantojärjestelmät sahateollisuudessa (SisuPuu). VTT. Www-dokumentti. Saatavissa:
http://www.vtt.fi/files/download/sisupuu_seminaari/sisupuu_yleisesittely.pdf.
Luettu: 25.11.2010.

Vesänen, J. 2005. Tukki- ja parruoptimoinnin toimivuuden kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen Yliopisto. Puutekniikan laitos. Lappeenranta.

Vuorilehto, J. 2004. Sahakoneryhmän kunnonvalvonnan uudet työkalut. PulPaper, 18-20.

Vuorilehto, J. & Tulokas, T. 2005. Tukinpyöritys on retuperällä. Puumies 8, 2-5.

Vuorilehto, J. & Tulokas, T. 2004. Tukinpyörittäjän tarkkuudesta. Puumies 7, 6-7.

TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MÄÄRITYS		2.6.2010 JUNNIKKALA OY, KALAJOKI		
ERÄ: 1	LINJANOPEUS: 90m/min	TUKKILUOKKA: Kuusi, 170mm		
Tukin numero	Pyöritys [°]			
	Mittarin optimointitulos	Toteutunut pyöritysmäärä	Toteutunut - optimointi pyöritysvirhe Δ [alle (-) / yli (+)]	Toteutunut - optimointi pyöritysvirheen itseisarvo $ \Delta $
1	167	100	-67	67
2	89	72	-17	17
3	115	114	-1	1
4	-99	-77	-22	22
5	-138	-142	4	4
6	99	70	-29	29
7	73	49	-24	24
8	-15	-6	-9	9
9	-127	-127	0	0
10	-57	-64	7	7
11	-137	-131	-6	6
12	-91	-63	-28	28
13	-66	-84	18	18
14	41	43	2	2
15	-49	-65	16	16
16	-26	-3	-23	23
17	43	36	-7	7
18	-164	-139	-25	25
19	97	37	-60	60
20	-128	-124	-4	4
21	-36	-33	-3	3
22	134	139	5	5
23	-154	-134	-20	20
24	-150	-124	-26	26
25	141	137	-4	4
26	154	96	-58	58
27	0	4	4	4
28	-171	-142	-29	29
29	-29	-27	-2	2
30	125	105	-20	20
Pyöritysvirheen poikkeaman keskiarvo				18,00
Pyörityskulman poikkeaman hajonta				17,69
Pyöritysvirheen keskiarvo			-14,27	
Pyörityskulman hajonta (keskiarvon ympärillä)			20,92	

TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MÄÄRITYS		2.6.2010 JUNNIKALA OY, KALAJOKI		
ERÄ: 2	LINJANOPEUS: 65m/min	TUKKILUOKKA: Kuusi, 250mm		
Tukin numero	Pyöritys [°]			
	Mittarin optimointitulos	Toteutunut pyöritysmäärä	Toteutunut - optimointi pyöritysvirhe Δ [alle (-) / yli (+)]	Toteutunut - optimointi pyöritysvirheen itseisarvo $ \Delta $
1	-3	-6	3	3
2	32	54	22	22
3	3	0	-3	3
4	145	141	-4	4
5	135	123	-12	12
6	-143	-139	-4	4
7	111	99	-12	12
8	100	109	9	9
9	-117	-118	1	1
10	-144	-128	-16	16
11	-94	-88	-6	6
12	87	97	10	10
13	162	127	-35	35
14	5	7	2	2
15	-88	-98	10	10
16	82	77	-5	5
17	43	55	12	12
18	51	36	-15	15
19	11	0	-11	11
20	-72	-64	-8	8
21	-60	-71	11	11
22	77	67	-10	10
23	-157	-126	-31	31
24	-62	-37	-25	25
25	-65	-78	13	13
26	122	106	-16	16
27	-103	-87	-16	16
28	-3	-1	-2	2
29	-16	-6	-10	10
30	172	132	-40	40
Pyöritysvirheen poikkeaman keskiarvo				12,47
Pyörityskulman poikkeaman hajonta				9,55
Pyöritysvirheen keskiarvo			-6,27	
Pyörityskulman hajonta (keskiarvon ympärillä)			14,64	

TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MÄÄRITYS		22.9.2010 JUNNIKALA OY, KALAJOKI		
ERÄ: 3	LINJANOPEUS: 50m/min	TUKKILUOKKA: Mänty, 270mm		
Tukin numero	Pyöritys [°]			
	Mittarin optimointitulos	Toteutunut pyöritysmäärä	Toteutunut - optimointi pyöritysvirhe Δ [alle (-) / yli (+)]	Toteutunut - optimointi pyöritysvirheen itseisarvo $ \Delta $
1	86	79	-7	7
2	-122	-91	-31	31
3	152	99	-53	53
4	37	30	-7	7
5	-175	-114	-61	61
6	94	71	-23	23
7	-94	-68	-26	26
8	159	64	-95	95
9	13	3	-10	10
10	31	27	-4	4
11	152	107	-45	45
12	86	85	-1	1
13	86	78	-8	8
14	126	83	-43	43
15	-94	-37	-57	57
16	-92	-59	-33	33
Pyöritysvirheen poikkeaman keskiarvo				31,50
Pyörityskulman poikkeaman hajonta				26,25
Pyöritysvirheen keskiarvo		-31,50		
Pyörityskulman hajonta (keskiarvon ympärillä)		26,25		

TUKINPYÖRITTÄJÄN TARKKUUDEN MÄÄRITYS		22.9.2010 JUNNIKALA OY, KALAJOKI		
ERÄ: 4	LINJANOPEUS: 90m/min	TUKKILUOKKA: Mänty, 140mm		
Tukin numero	Pyöritys [°]			
	Mittarin optimointitulos	Toteutunut pyöritysmäärä	Toteutunut - optimointi pyöritysvirhe Δ [alle (-) / yli (+)]	Toteutunut - optimointi pyöritysvirheen itseisarvo $ \Delta $
1	93	97	4	4
2	-108	-106	-2	2
3	-95	-69	-26	26
4	171	125	-46	46
5	-97	-101	4	4
6	86	83	-3	3
7	-95	-99	4	4
8	113	82	-31	31
9	84	70	-14	14
10	180	148	-32	32
11	-144	-145	1	1
12	68	98	30	30
13	10	0	-10	10
14	160	137	-23	23
15	83	73	-10	10
16	-177	-161	-16	16
17	-97	-84	-13	13
18	102	47	-55	55
19	-166	-141	-25	25
20	-98	-98	0	0
21	-95	-95	0	0
22	-97	-106	9	9
23	18	2	-16	16
24	-93	-74	-19	19
25	86	65	-21	21
26	-96	-107	11	11
27	-171	-140	-31	31
28	84	73	-11	11
29	-106	-105	-1	1
Pyöritysvirheen poikkeaman keskiarvo				16,14
Pyörityskulman poikkeaman hajonta				13,81
Pyöritysvirheen keskiarvo			-11,79	
Pyörityskulman hajonta (keskiarvon ympärillä)			17,98	

TOISTOTESTI		22.9.2010 JUNNIKALA OY, KALAJOKI		
ERÄ: 5	LINJANOPEUS: 90m/min	TUKKILUOKKA: Mänty, 140mm		
Tukin numero	Pyöritys [°]			
	Mittarin optimointitulos	Toteutunut pyöritysmäärä	Toteutunut - optimointi pyöritysvirhe Δ [alle (-) / yli (+)]	Toteutunut - optimointi pyöritysvirheen itseisarvo $ \Delta $
1	-80	-78	-2	2
2	4	0	-4	4
3	81	60	-21	21
4	-93	-74	-19	19
5	82	107	25	25
6	-159	-172	13	13
7	138	125	-13	13
8	94	85	-9	9
9	93	82	-11	11
10	4	5	1	1
Pyöritysvirheen poikkeaman keskiarvo				11,80
Pyörityskulman poikkeaman hajonta				7,72
Pyöritysvirheen keskiarvo			-4,00	
Pyörityskulman hajonta (keskiarvon ympärillä)			14,25	