

**Jaakko Martonen**

**KOIVUKUORINNAN AJOPARAMETRIEN OPTIMOINTI**

**Opinnäytetyö  
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2011**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Tekniikka ja liiketalous, Kokkola	<b>Aika</b> Toukokuu 2011	<b>Tekijä</b> Jaakko Martonen
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikan koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> Koivukuorinnan ajoparametrien optimointi		
<b>Työn ohjaaja</b> DI, KM Maija Rukajärvi-Saarela		<b>Sivumäärä</b> 50 + 5
<b>Työelämäohjaaja</b> DI, Niklas Keskinen		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin UPM Kymmenen Pietarsaaren sellutehtaan puunkäsittelyyn. Tehtaalla oli otettu käyttöön syksyllä 2010 uusi koivun kuorintalinja, jonka ajoparametreja oli viritetty pitkin syksyä. Työssä keskityttiin hienosäätämään nykyisen ajomallin ajoparametreja optimaalisen ajo-ohjelman löytämiseksi. Parannuksia lähdettiin hakemaan pienentämällä kuorintarummun täyttöastetta, ja täten vähentämällä kuorinnassa tapahtuvia puuhäviöitä. Muutoksissa huomioitiin tehtaan puhtausastetavoite sekä tarpeiden mukaisen tuotantokapasiteetin ylläpito.</p> <p>Ajoparametrien optimointia varten toteutetut koeajot suoritettiin maaliskuussa 2011. Koeajojaksot olivat kestoltaan 16 tunnin mittaisia. Niiden tulokset kerättiin Teknosavon ProfiSmart- ja BarkSmart-mittareiden sekä muiden mittapiirien järjestelmään kokoamista keskiarvoista.</p> <p>Kokeet osoittivat, että kuorinnan toteuttaminen pienellä, noin 20 %:n täyttöasteella on hyvin vaikeasti toteutettavissa Pietarsaaren kuorimon olosuhteissa. Suurimaksi ongelmaksi muodostui puun puhtausastetavoitteen saavuttaminen jatkoprosessin vaatimalla tuotantovauhdilla ajettaessa.</p> <p>Käytetyt koeajomallit eivät antaneet lupaavia tuloksia, sillä kaikki tuotannolliset vaatimukset huomioon ottaen vanha ajomalli osoittautui näistä parhaaksi vaihtoehdoksi. Vanhan ajomallin ongelmana on ajoittain liian korkea puun kuoripitoisuus kuorinnan jälkeen. Ongelma olisi todennäköisesti korjattavissa pienillä muutoksilla vanhan reseptin rummun portin liikeratoihin sekä alentamalla täyttöasteen pysäytysrajaa, pitäen kuitenkin täyttöastetavoite ennallaan. Muutokset vaativat kuitenkin koeajoja niiden toimivuuden varmistamiseksi.</p>		
<b>Asiasanat</b> puhtausaste, puuhäviö, rumpukuorinta, tuotantokapasiteetti, täyttöaste		

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> May 2011	<b>Author</b> Jaakko Martonen
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> Optimizing birch debarking parameters		
<b>Instructor</b> Maija Rukäjärvi-Saarela		<b>Pages</b> 50 + 5
<b>Supervisor</b> Niklas Keskinen		
<p>This final thesis was done for pulp mill of UPM-KYMMENE in Pietarsaari. The mill had newly in Autumn 2010 renewed debarking production line for birch debarking. The goal of thesis was to optimize automation system's control parameters in order to achieve optimal debarking degree with at least amount of wood losses as possible. The changes aimed towards reducing the filling degree of the debarking drum and still achieving sufficient barking degree with minimal wood losses. The sufficient production capacity also needed to be maintained after the changes.</p> <p>For examination and optimization of the system control parameters four test runs were made during March of 2011. Each of the test runs took approximately 16 hours. With help of optical measuring devices and other measuring equipment the research data was able to be collected from the automation system.</p> <p>The mill scale tests indicated that it is hard to debark birch with low-level filling of the debarking drum in conditions of the Pietarsaari pulp mill. The hardest obstacle to overcome was to reach sufficient production capacity and achieve adequate debarking degree with the low-level filling of the drum.</p> <p>The test results were not promising because all things considered the old control parameters proven to be best for time being. The biggest problem with old parameters is that occasionally the barking degree is inadequate. Insufficient barking degree might be repaired with some changes in parameters of drum's gate while keeping the filling degree unchanged.</p>		
<p><b>Key words</b> degree of debarking, drum debarking, filling degree, production capacity, wood loss</p>		

## TYÖSSÄ ESIINTYVIÄ KÄSITTEITÄ

<b>Opasiteetti</b>	Paperin opasiteetti on sen läpinäkymättömyyden mitta. Mitä korkeampi opasiteetti on, sitä läpinäkymättömämpää paperi on.
<b>Bulkki</b>	Paperin kiintotiheys määritellään massana tilavuusyksikköä kohti. Bulkki on tämän kiintotiheyden käänteisarvo.
<b>Pine</b>	Mänty
<b>Spruce</b>	Kuusi
<b>Birch</b>	Koivu
<b>Degree of debarking</b>	Puhtausaste
<b>Debarking time</b>	Kuorinta-aika
<b>Wood loss</b>	Puuhäviö
<b>Filling degree</b>	Täyttöaste
<b>Rotation speed</b>	Kierrosnopeus

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 KUITUPUU</b>	<b>4</b>
2.1 Tärkeimmät kuituraaka-aineet	4
2.2 Puun kuljetus tehtaalle	5
2.3 Puun vastaanotto ja varastointi	6
<b>3 KUORINTA</b>	<b>9</b>
3.1 Sulatuskuljetin	9
3.2 Rumpukuorinta	10
3.3 Kuorinnan tulos ja puuhäviöt	13
3.4 Tärkeimmät kuorintatulokseen vaikuttavat tekijät	15
3.4.1 Täyttöaste ja viipymäaika	15
3.4.2 Rummun kierrosnopeus	17
3.4.3 Käsiteltävän puumateriaalin ominaisuudet	19
3.5 Kuoren ja kuoriveden käsittely	21
<b>4 UPM KYMMENE PIETARSAAREN TEHTAAN KUORIMON TOIMINTA</b>	<b>25</b>
4.1 Puun syöttö ja kuorinta	25
4.2 Haketus ja seulonta	26
4.3 Kuoren-, veden- ja lietteenkäsittely	27
<b>5 KUORINTALINJAN AUTOMAATIO PIETARSAARESSA</b>	<b>28</b>
5.1 Mittaukset	28
5.2 Syöttökuljettimen ja rummun mittaukset	29
5.3 Rummun portti ja tuotantokapasiteetti	30
5.4 Kuoripitoisuus ja puuhäviö	30
5.5 Sulatuksen ohjaus	31
<b>6 KOKEELLINEN OSUUS</b>	<b>32</b>
6.1 Koeajojen suunnittelu	32
6.2 Koeajojen toteutus	34
<b>7 TULOSTEN TARKASTELUA</b>	<b>38</b>
7.1 Puuhäviö ja puhtausaste	38
7.2 Tuotantokapasiteetti	40

<b>7.3 Rummun portti ja täyttöaste</b>	<b>42</b>
<b>7.4 Johtopäätökset koetuloksista</b>	<b>44</b>
<b>7.5 Parannusehdotuksia kuoripitoisuuden vähentämiseksi</b>	<b>46</b>
<b>8 YHTEENVETO</b>	<b>47</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>49</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>1. Koivun kuorintalinjan yleiskaavio</b>	
<b>2. Alkuperäinen resepti</b>	
<b>3. Koeajojen tuloksia</b>	
<b>4. Puuhäviö ja puhtausaste, koeajot 3 ja 4</b>	
<b>5. Täyttöaste ja portti, koeajot 3 ja 4</b>	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyö suoritettiin 1.11.2010–1.4.2011, ja sen toimeksiantajana oli metsäteollisuusyhtiö UPM-Kymmene Pietarsaaren paperi- ja sellutehtaat. Tuotantolaitos sijaitsee Pohjanlahden rannalla Pietarsaaren Alholmassa. Paperi- ja sellutehtaan lisäksi tehdasalueella toimivat myös Alholman saha, Oy Alholmens Kraft Ab:n voimalaitos, AGA:n happitehdas ja Walki Oy:n paperinjalostustehtas. Alholman satamassa operaattorina toimii Oy Botnia Shipping Ab. (UPM-KYMMENE 2011.)

Tehtaan historia ulottuu aina vuoteen 1883, jolloin Wilhelm Schauman perusti sikuritehtaan. Alholman saha puolestaan sai alkunsa vuonna 1896, jolloin samainen Schauman aloitti sahaustoiminnan sikuritehtaan läheisyydessä. Varsinainen sulfaattisellu- ja voimapaperitehtas käynnistettiin vuonna 1962. Nykyään sellutehtas on yksi Suomen suurimmista sulfaattisellun eli kemiallisen sellun valmistajista. Sen kahdella kuitulinjalla valmistetaan havu- ja lehtipuusellua. Lisäksi purukeittämöllä keitetään purusellua. Sellutehtaan vuosikapasiteetti on lähes 800 000 tonnia, josta suurin osa käytetään UPM:n omilla paperitehtailla Suomessa ja Keski-Euroopassa. (UPM-KYMMENE 2011.)

UPM Pietarsaaren paperitehtaalla valmistetaan sellutehtaalta saatavasta sellusta valkoista säkkipaperia sekä valkoista ja ruskeaa pussipaperia. Tuotevalikoimaan kuuluu myös joitain erikoispapereita. Paperitehtaan tuotantokyky on hieman vajaat 200 000 tonnia vuodessa. Alholman sahalla sahataan kuusi- ja mäntytavaraa, joista noin 25 % jatkojalostetaan. Sivutuotteena sahalla syntyy sahaketta, joka menee sellutehtaan purukeittoon, sekä kuorta, joka poltetaan energiaksi Alholmens Kraftilla. Sahatavaraa käsitellään vuosittain 220 000 m<sup>3</sup>, josta noin 60 % on kuusta. (UPM-KYMMENE 2011.)

Tehtaan kuorimolla kuoritaan kuitupuuta kahdella erillisellä kuivakuorintalinjalla, jotka ovat lähes identtisiä rinnakkaisprosesseja. Linjojen yhteenlaskettu vuosikapasiteetti on noin 3 miljoonaa kiintokuutiometriä. Tehtaalle tulevan puun mittauksesta huolehtii UPM:n metsäosasto, joka suorittaa mittauksen pääosin paino-

otantamenetelmää käyttäen. Sellutehtaan kuitulinjan puunkäsittely pitää sisällään metsäosaston huolehtiman puun kenttäkäsittelyn sekä Fin-Terpuun urakoitsijoiden hoitaman syötön kuorimoon. Puun kuorinnan, haketuksen, hakkeen kuljetuksen kasoille ja siiloon sekä kuorenkäsittelyn hoitavat kuorimon prosessinhoitajat. Näiden lisäksi kuorimolla käsitellään myös tehtaan kiertovesi sekä kuituliete. Puunkäsittelyn pääasiallinen tehtävä on valmistaa mahdollisimman puhdasta ja laadukasta haketta tehtaan jatkoprosessien tarpeisiin.

Puunkäsittelyssä prosessin automatiikka on kehittynyt melko hitaasti sellutehtaiden muuhun laitteistoon verrattuna ja puunkäsittelyprosessi on edelleen enemmän tai vähemmän vaikeasti hallittavissa. Kuorintaprosessin tehostamista ovat edesauttaneet viime vuosikymmenellä ilmaantuneet online-mittausjärjestelmät. Esimerkkinä voidaan mainita työssäkin käytetyt Teknosavon BarkSmart- ja WoodSmart-mittalaitteet, jotka mittaavat kuorinnan puuhäviötä ja kuoripitoisuutta reaaliaikaisesti. Aikaisemmin mittaustuloksia on saatu ainoastaan hyvin työläiden käsin otettujen näytteiden avulla.

Rumpukuorinnalla on mahdollista saavuttaa lähes sadan prosentin puun puhtausaste, joka ei ole kuitenkaan käytännössä kannattavaa, sillä kuorinnan puuhäviöt kasvavat puhtausasteen nousun myötä. Puun kuorintatarpeeseen vaikuttavat ensisijaisesti käytettävä kuidunvalmistusmenetelmä sekä lopputuotemassan vaaheus ja käyttötarkoitus. Tämän vuoksi kuorinta-asteen valinta on optimointitehtävä puuhäviöiden ja puun puhtausasteen välillä. Puuhäviöihin voidaan vaikuttaa pienentämällä kuorimon ajonopeutta, jolloin myös rummun kierrosnopeutta voidaan laskea ja tällöin kuorinta tapahtuu hellempin, paremmin puumateriaalia säästäen. Rummun täyttöasteelle ei voida antaa yleistä arvoa, sillä optimiarvo on riippuvainen rummun mitoituksesta ja sen muista ominaisuuksista.

Pietarsaaren tehtaan kuorimolla on pyritty koivun kuorintalinjan uusimisen myötä löytämään uudelle linjalle soveltuvaa, optimaalista ajomallia. Optimaalisessa ajomallissa puu kuoriutuu korkeaan pintapuhtauteen vähäisin puuhäviöin. Työssä keskityttiin parantamaan nykyistä ajomallia pienentämällä kuorinnan aikaista rummun täyttöastetta, jolloin kuorintaprosessilla olisi edellytyksiä toimia entistä talou-



dellisemmin. Uutta ajomallia suunniteltaessa otettiin huomioon tehtaan kuidunvalmistusmenetelmän vaatima puhtausaste sekä tarvittava hakkeen tuotantonopeus. Tutkielman alussa tarkastellaan kirjallisuuden pohjalta puun kuljetusta tehtaalte, puunkäsittelyn yleisiä toimintamalleja sekä puunkuorinnan mekanismeja. Tämän jälkeen esitellään lyhyesti UPM Pietarsaaren kuorimo sekä käydään läpi kuorintalinjan automaatiojärjestelmä ja sen työn kannalta tärkeimmät mittaukset. Tutkimuksen myötä on otettu esille myös työn mukanaan tuomia ongelmia sekä kehittymahdollisuuksia. Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät, koeajojen suorituset, tulokset ja loppupäätelmät esitetään erikseen omissa osioissaan.

## 2 KUITUPUU

Puukuitu on sellun- ja paperinvalmistuksen perusraaka-aine. Puussa kuidut ovat kuitenkin lujasti toisiinsa sitoutuneina, joten ne ovat käsittelemättöminä huonosti sitoutuvia ja liian jäykkiä paperinvalmistusta silmällä pitäen. Massanvalmistuksessa tavoitteena on irrottaa kuidut toisistaan ja muokata ne sopiviksi paperinvalmistusta varten. (KnowPulp 2009.)

Massaa valmistetaan pääasiallisesti kahdella eri menetelmällä:

- Kemiallisella kuidutuksella eli keittämällä. Sellun keitossa tavoitteena on keittokemikaalien ja lämmön avulla poistaa hakkeesta kuituja sitovaa ligniiniä, jolloin kuidut vapautuvat.
- Mekaanisessa massanvalmistuksessa puumateriaali kuidutetaan rasittamalla sitä mekaanisesti samalla tuottaen siihen lämpöä. Mekaanisen hankauksen ja lämpötilan nousun vaikutuksesta kuidut irtoavat. (KnowPulp 2009; Isotalo 2004 59–62.)

### 2.1 Tärkeimmät kuituraaka-aineet

Sellun- ja paperinvalmistuksen kuituraaka-aineet voidaan pääasiallisesti jakaa kahteen ryhmään:

- havupuut
- lehtipuut.

Eri puulajeista saadaan erilaisia ominaisuuksia massalle. Mäntypuulajeista valmistetaan sellua pääasiassa keittomenetelmällä ja kuusta käytetään lähinnä mekaanisten massojen raaka-aineena. Lehtipuista valmistetaan massaa pääosin keittämällä ja niistä pohjoismaissa yleisimmin käytetty puulaji on koivu. Maailmanlaajuisesti yleisimmät raaka-aineet ovat eukalyptus ja akasia. (KnowPulp 2009; Isotalo 2004, 15–17.)

Kemialliselta koostumukseltaan havupuut eroavat hyvin vähän toisistaan. Suurimmat erot ovat uuteaineiden määrässä sekä koostumuksessa. Uuteaineet rajoittavat eräiden puulajien käyttöä mekaanisen massan valmistuksessa ja varsinkin keittoprosessissa. (KnowPulp 2009; Isotalo 2004, 53–54.)

Havusellulta vaaditaan hyviä lujuusominaisuuksia, kuten veto- ja repäisylujuutta. Lujuusominaisuuksiltaan korkealaatuinen massa takaa paremman ajettavuuden jatkojalostuskoneilla, kuten paperi- ja painokoneilla. Valkaistua havumassaa käytetään kirjoitus- ja painopapereihin, korkealaatuisiin pakkauspapereihin ja kartongin valmistukseen. (Isotalo 2004, 29–30; Nieminen, Kallio & Lankia 2005)

Eri lehtipuulajien väliset kemialliset koostumukset eroavat toisistaan enemmän kuin havupuut. Eukalyptuksen ja akasian selluloosapitoisuudet ovat korkeita ja hemiselluloosapitoisuudet puolestaan alhaisia, kun taas koivulla nämä ovat juuri päinvastoin. Kuidut, joilla on pieni hemiselluloosapitoisuus, turpoavat vähemmän, mikä puolestaan mahdollistaa paremman saannon massanvalmistuksessa. Myös uuteainepitoisuuksissa on suuria vaihteluita puulajien välillä. (Isotalo 2004, 30–31.)

Lehtipuusellulta vaaditaan hyvää sitoutumiskykyä, opasiteettia ja bulkkia. Lehtipuusellu vaikuttaa paperin loppukäyttöominaisuuksiin, edistää paino-ominaisuuksia sekä parantaa käyttäytymistä paino- ja kopiokoneissa. Tämän vuoksi käyttökohteina ovat yleensä hieno-, paino- ja taidepainopaperit. (KnowPulp 2009; Nieminen ym. 2005.)

## **2.2 Puun kuljetus tehtaalle**

Nykyaikaisessa metsänkorjuussa puut kaadetaan, karsitaan ja katkaistaan monitoimikoneilla. Tämän jälkeen puutavara kuljetetaan metsästä metsätraktoreilla tai tavallisilla traktoreilla, jotka on varustettu lisälaitteilla. Metsäkuljetus päättyy metsäautotien tai uittoväylän läheisyyteen välivarastointiin. Nykyisin puu tulee metsästä tehtaalle entistä nopeammin, joten puun varastointi metsässä on yleensä lyhyt-

aikaista. (Seppälä, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen & Sironen 2002, 19.)

Autokuljetus on puutavaran yleisin kuljetusmuoto tehtaalle siitä huolimatta, että se on kallein kuljetusmuoto. Ainoastaan lyhyet, alle 100 kilometrin mittaiset kuljetusmatkat on kannattavinta suorittaa autoilla. Autokuljetus on kuitenkin nopea ja joustava kuljetusmuoto, eikä se vaadi tehtaalta investointeja kuljetuskalustoon, koska Suomessa kuljetuksen hoitavat pääosin yksityisyrittäjät. Autokuljetusten osuus on noin 80 % kuljetuksista. (Seppälä ym. 2002, 19–20.)

Rautatiekuljetusta käytetään tavallisesti vain, jos kuljetettava matka on yli 100 km (Seppälä ym. 2002, 19). Rautatiekuljetus on hyvin aikataulusidonnaista ja etukäteen suunniteltua, eikä se salli suuria poikkeamia missään vaiheessa kuljetusketjua. Rautatiekuljetus voi olla myös osa vesikuljetusta, jos koko vesireittiä ei ole kanavoitu uittokuntoon. Rautatiekuljetuksien osuus on noin 15 % kaikista kuljetuksista. (Seppälä ym. 2002, 19.)

Vesikuljetuksiin liittyy usein lyhyt autokuljetus vesistön varteen. Tämän jälkeen puut kootaan suuriin nippuihin, jotka kasataan edelleen hinattavaksi lautoiksi. Uittossa kuljetusnopeus on yleensä varsin hidas, joten kuljetusten nopeuttamiseksi puutavara voidaan lastata myös rahtilaivaan tai proomuun. Uitto on edullinen kuljetusmuoto, varsinkin pitkillä, yli 200 km:n kuljetusmatkoilla ja siinä puutavaran laatu säilyy parhaana. Kuitenkin vain pieni osa puutavarakuljetuksista toteutetaan uittolalla, koska se on kankeaa, lisää varastointokustannuksia sekä on vahvasti sidoksissa vuodenaikoihin. (Seppälä ym. 2002, 19.)

### **2.3 Puun vastaanotto ja varastointi**

Puu saapuu Pietarsaaren tehtaalle pääosin autolla tai junalla, jossain määrin myös laivarahdilla. Osalle saapuvasta puutavarasta suoritetaan laaduntarkkailua, jolloin pystytään varmistamaan tehtaalle tulevan puun määrä. Tarkkailu auttaa myös määrittämään kuljetuskustannukset sekä raaka-ainekustannukset tuotettua mas-

satonnia kohden. Jokainen saapuva puuauto punnitaan kuormattuna ja tyhjänä kuorman massan selvittämiseksi. Samalla selvitetään myös kuorman kehystilavuus mittaamalla sen pituus, leveys ja korkeus ja kertomalla mittaustulokset keskenään. Tämän jälkeen satunnaisesti määrätystä kuormasta otetaan otantana yleensä yksi nippu puita, jonka tiheys voidaan määrittää mm. joillakin seuraavista tavoista:

- määrittämällä kuorman tiiviys ja kertomalla se koko erän kehystilavuudella
- punnitsemalla otos ilmassa ja vedessä, tulosten erotus on otoksen tilavuus
- upottamalla otos altaaseen, pinnankorkeuden muutos on otoksen tilavuus (Seppälä ym. 2002, 20–21; KnowPulp 2009.)

Näitä satunnaisesti valittuja mittauksia suoritetaan tietyille määrälle koko tehtaan puuvirrasta. Määrän on oltava tarpeeksi suuri, jotta puutavaramittausta voidaan pitää luotettavana. Yleensä otantamittaus tehdään 1–2 %:lle tehtaalle tulevista kuormista. Puunkäsittelyn otanta- ja vastaanottojärjestelyt sekä käytössä oleva laitetekniikka voivat erota huomattavasti eri tehtaiden kesken, varsinkin TMP- ja hiokepuuta raaka-aineenaan käyttävillä tehtailla. (Seppälä ym. 2002, 20–21; KnowPulp 2009.)

Ihannetilanteessa kaikki tehtaalle saapuva puutavara kyettäisiin syöttämään suoraan prosessiin ilman minkäänlaista välivarastointia. Tämä ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista, sillä useiden eri puulajien käyttö, mahdolliset ongelmatilanteet sekä tuotannon jaksottaisuus muodostavat pakottavan tarpeen välivarastoinnille. Tämän vuoksi osa Pietarsaareenkin saapuvasta puutavarasta varastoidaan lajeittain asfalttikentille. Asfalttikenttien etuna on se, että ylimääräistä maa-ainesta ei tällöin kulkeudu puiden mukana prosessiin. Lisäksi ne on myös helppo pitää puhtaana. Tukeva alusta mahdollistaa myös painavien työkoneiden, kuten kurottajien ja pyöräkoneiden käytön puiden varastointialueella. (Seppälä ym. 2002, 21–22; KnowPulp 2009.)

Sekä kurottajien että pyöräkuormaajien haittapuolina ovat korkeat käyttökustannukset sekä usein lyhyt käyttöikä. Siltanostureilla taas kyetään nostamaan suuria

taakkoja kerrallaan käyttöön ollessa pitkä ja huollon tarve vähäinen. Rajalliset liike-etäisyydet sekä käytön kankeus ovat vähentäneet siltanosturien määrää tehtail- la. Laivoilla tulevat puut puretaan pienemmillä, alustoillaan liikuteltavilla kahmareil- la. (Gullichsen & Fogerholm 1999, 338–342; Seppälä ym. 2002, 22.)



KUVIO 1. Puutavaran varastointia (KnowPulp 2001–2002.)

Varastointi asfalttikentillä huonontaa puun laatua varsinkin kesäaikaan. Kuukausi- en mittainen varastointi lämpimänä aikana aiheuttaa puuaineessa sieni- ja hyön- teistuhoja sekä heikentää massanlujuusominaisuuksia. Myös massan saanto ja havupuusta saatavan mäntyöljyn määrä heikkenee varastoinnin myötä. Varas- toidun puun kuivumista voidaan hidastaa kastelemalla. Kuitenkin liiallinen kastelu aiheuttaa värivaurioita ja muutakin vahinkoa puuainekselle. (Seppälä ym. 2002, 21–22; PuuProffa 2011.)



KUVIO 2. Puutavaran pinoamista kurottajalla (KnowPulp 2001–2002.)

### 3 KUORINTA

Kuorintaprosessin päätehtävänä on kuoria kapasiteettivaatimuksen mukainen määrä puita käytettävän jatkoprosessin edellyttämään puhtausasteeseen samalla minimoiden puuhäviöt. Kuoren irrottamiseksi puun pinnalta on murrettava puun ja kuoren välinen jälsikerros. Tämä onnistuu kohdistamalla jälsikerrokseen voimia, jotka ylittävät sen sidoslujisuuden. Oikeaoppinen kuoriutuminen tapahtuu jälsikerrosta myöten. (KnowPulp 2009; Seppälä ym. 2002, 24.)

#### 3.1 Sulatuskuljetin

Talviolosuhteissa puun pinnalla olevan kuorikerroksen sulattaminen on välttämättömyyttä kuorinnan onnistumiseksi. Puiden sulatus tapahtuu yleensä kuorintarummun syöttökuljettimella eli sulatuskuljettimella. Puiden kauttaaltaan sulattaminen on kuitenkin mahdotonta toteuttaa järkevillä kustannuksilla ja sulatusajalla. Onneksi kuorinnan kannalta on riittävää, että puun kuorikerros on sula. Sulatuksessa käytetään lämmintä sulatusvettä ja yleensä lisäksi matalapainehöyryä. Käytettävä vesimäärä vaihtelee 100–200 l/s välillä olosuhteista riippuen vedenlämpötilan ollessa 40–50 °C. Koivu vaatii enemmän lämpöenergiaa ja pidemmän sulatusajan kuin havupuu. Kuljettimeen syötettävä sulatusvesi huuhtelee mukaansa puiden pinnoilla olevia epäpuhtauksia. (KnowPulp 2009; Seppälä ym. 2002, 23.)

Puu saapuu tehtaalle yleensä vapaamittaisena, sillä sellupuun ei välttämättä tarvitse olla määrämittaista. Tämän vuoksi nippuja ei tarvitse hajottaa eikä puita katkaista, vaan ne voidaan syöttää suoraan prosessiin. Niput lastataan sulatuskuljetin lastauspöydälle (KUVIO 3). Kuorintaprosessin kannalta olisi kuitenkin edullisempää, että puutavara olisi mahdollisimman samanmittaista. (Seppälä ym. 2002, 23.)



KUVIO 3. Puutavaran lastausta sulatuskuljettimelle (KnowPulp 2001–2002.)

Sulatuskuljettimen tehtävä on puiden sulattamisen ohella syöttää puut kuorintarumpuun. Kuljettimen pohja muodostuu ketjumatosta, jossa on 6–12 ketjua rinnakkain. Niput saadaan liikkeelle ketjuissa olevien poikittaisten kolien avulla. Ketjumattoa liikuttavat hydraulimoottorit. Ketjumaton tilalla voi olla myös tasolevyt eli lamellit, jotka liikuttavat puita edestakaisella liikkeellä. Lamellisyyttöä käytettäessä kuljettimen seinien on oltava hieman vinot ja nousukulman pienempi kuin ketjukuljetinta käytettäessä. (Seppälä ym. 2002, 23; Gullichsen & Fogerholm 1999, 348–349.)

### 3.2 Rumpukuorinta

Kuorintarumpu on päistään avoin teräslieriö, jonka sisälle on koko rummun pituudelta hitsattu kuperia U:n muotoisia kuorimarautoja, jotka rummun pyöriessä nostavat puut sen kehälle, mistä ne putoilevat alas kolhien toisiaan. Rummun vaippaan on leikattu aukkoja, joista puista irtoava kuori poistuu. Kuorimaraudat ja kuoriaukot kuluvat voimakkaasti kitkan vaikutuksesta. Sen vuoksi niiden reunat on usein päällystetty kulumisen hidastamiseksi. (Seppälä ym. 2002, 25.)



Kuorintavaiheessa rumpu ja sen sisällä olevat puut painavat satoja tonneja. Tämän vuoksi rumpu voi olla valmistettu useammasta erillisestä lieriöstä jäykkyyden lisäämiseksi. Rumpua kannatellaan sen ympärillä olevien teräksisten vierintärenkaiden ja teräksisten kannatuspyörien varassa. Rumpua pyöritetään kehällä olevien hammasrenkaiden ja vetohammasrattaiden avulla. Vaihtoehtoisesti teräksiset kannatuspyörät on voitu korvata ilmatäytteisillä kumirenkailla (KUVIO 4). (Niiranen & Tirri 1993, 13.)



KUVIO 4. Kumirenkain kannateltava kuorintarumpu (Vacon 2010.)

Rakenteeltaan ja toiminnaltaan kuorintarummut voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, lyhyen puun rumpuihin (ristikkäiskuorinta) ja pitkän puun rumpuihin (yhdensuuntaiskuorinta). Suomessa käytetään lähes yksinomaan ristikkäiskuorintaa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. (Niiranen & Tirri 1993, 12.) Taulukossa 1 on vertailtu ristikkäis- ja yhdensuuntaiskuorinnan ominaisuuksia.

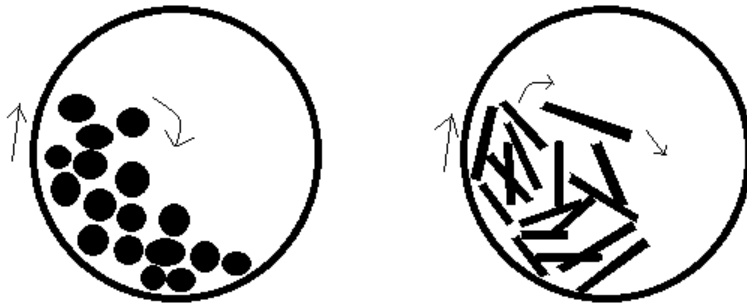
Ristikkäiskuorinnassa kuorittavat puut ovat yleensä 3–5 m:n mittaisia, joten ne ovat lyhyempiä kuin rummun halkaisija ja mahtuvat vierimään rummussa kaikkiin suuntiin akselinsa ympäri. Rummusta voidaan erottaa kaksi vyöhykettä: alempi kerros, jossa ei juuri esiinny puiden välisiä nopeuseroja ja kuoriutuminen on melko vähäistä, ja ylempi kerros, jossa puut vierivät alas puusuman rinnettä pitkin. Kuo-

riutuminen tapahtuu pääasiassa tässä liukuvassa kerroksessa, jossa puiden väliset nopeuserot ovat suuria. (Niiranen & Tirri 1993, 12.)

Yhdensuuntaiskuorinnassa puut vierivät pelkästään rummun akselin suuntaisesti ja sitä käytetään pitkän, jopa 20 m:n mittaisen puun kuorintaan. Tällöin puiden pituus on rummun halkaisijaa suurempi. Yhdensuuntaiskuorinnassakin rummusta on eroteltavissa samat vyöhykkeet kuin ristikkäiskuorinnassa, puiden kuoriutuminen tapahtuu puukerroksen vierivässä pintaosassa. Koska puut ainoastaan rullaavat toisiaan vasten, on kuorinta ristikkäiskuorintaa hellävaraisempi. Tällöin niiden väliset kitkavoimat jäävät pienemmiksi eikä kuorinta ole niin tehokasta. (Niiranen & Tirri 1993, 12.)

TAULUKKO 1. Ristikkäis- ja yhdensuuntaiskuorinnan vertailua (Hedenberg 1990, 58.)

<b>Kuorintatapa</b>	<b>Ristikkäiskuorinta</b>	<b>Yhdensuuntaiskuorinta</b>
Rummun halkaisija	5,0–5,5 m	3,2–3,8 m
Rummun pituus	20–30 m	40–60 m
Rummun nopeus	4–7 kierrosta/min	8–12 kierrosta/min
Puiden pituus	< 60 % rummun halkaisijasta	> rummun halkaisija
Täyttöaste	40–50 %	10–20 %



KUVIO 5. Puiden liikettä kuorintarummussa, vasemmalla yhdensuuntaiskuorinta ja oikealla ristikkäiskuorinta (mukaillen Hedenberg 1990, 57.)

### 3.3 Kuorinnan tulos ja puuhäviöt

Kaikki massanvalmistusmenetelmät edellyttävät kuoren poistamista raaka-aineena käytettävän puun pinnalta, sillä kuorijae sisältää vain vähän hyödyllisiä kuituja ja se kuluttaa määräänsä nähden runsaasti keitto- ja valkaisukemikaaleja. Korkea kuoripitoisuus aiheuttaa myös lukuisia muita ongelmia jatkoprosesseissa, kuten esimerkiksi roskaisuutta. (Seppälä ym. 2002, 24.)

Kuorinnan aste ilmoitetaan useimmiten pintapuhtautena, joka ilmaisee puunpinnan kuorettoman pinta-alan osuuden, tai kuoripitoisuutena, joka ilmaisee kuoren painosuuden. Kuorinnan tarkkuus riippuu käytettävästä laitteistosta sekä kuidunvalmistusprosessista. (Gullichsen & Fogerholm 1999 351.)

Paperipuulla 0,5 %:n kuoripitoisuus vastaa noin 95 %:n pintapuhtautta kuorinnassa. Sellun valmistuksessa kuorintapintapuhtaudeksi riittää yleensä n. 90 %, koska hapettavassa valkaisussa kuoriepäpuhtaudet liukenevat. Kaikkein tarkinta kuoren poistoa vaativat hiokkeen ja hierteen valmistus. Näissä puhtausvaatimus on noin 98 %. (Gullichsen & Fogerholm 1999, 351.) Taulukossa 2 on lueteltuna sallittuja kuorimääriä eri massatyypeille.

TAULUKKO 2. Eri massalajien sallitut kuoripitoisuudet (mukaillen Seppälä ym. 1999, 24.)

Massatyyppi	Sallittu kuorimäärä
Hioke	0,20 %
TMP	0,20 %
CTMP	0,2–1,0 %
Valkaisematon sulfaatti	1,0–1,5 %
Valkaistu havusulfaatti	1,0–2,0 %
koivusulfaatti	n. 0,5 %

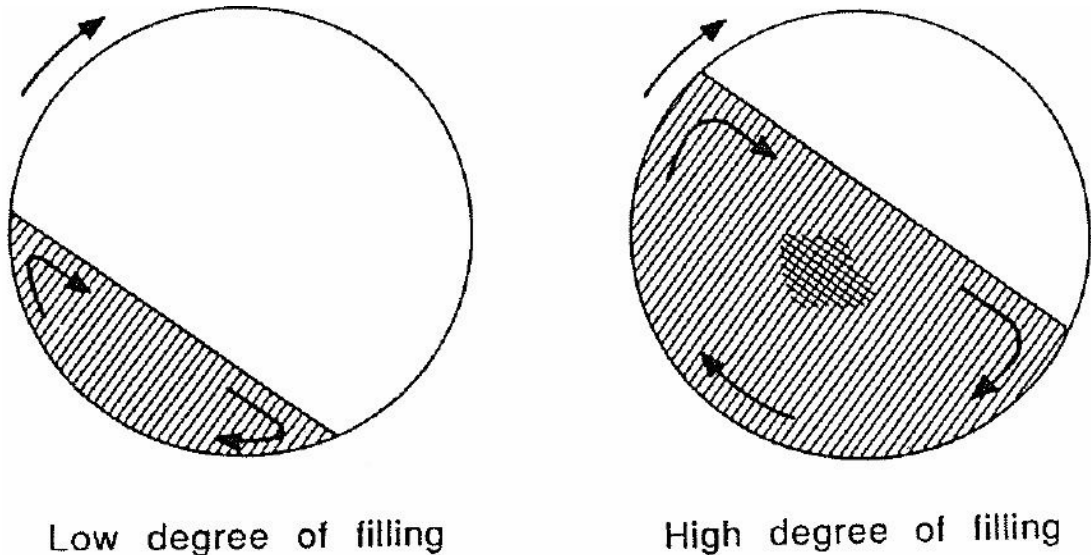
Rumpukuorinnassa puuhäviöt muodostuvat pääosin kuorivirran mukana poistuvista puunkappaleista. Häviöt syntyvät puiden saadessa liian voimakkaita iskuja kuorintarummussa, jolloin ne katkeilevat, pirstoutuvat ja pensselöityvät. Loput häviöistä syntyvät pensselöityneistä runkojen päistä muodostuvan haketuspurun ja tikkuhakkeen seulonta- ja kuitusaantohäviöistä sekä rummussa katkenneiden puunpätkien muodostaman ylisuuren hakejakeen hyllystä. Hyväkuntoisen puun kuorinnassa häviöt ovat useimmiten 1–5 %:n luokkaa, laholla puulla ne voivat nousta jopa 20 %:iin asti. (Niiranen & Tirri 1993, 18.)

Puiden kuoriutumiseen ja puuhäviöiden muodostumiseen vaikuttavat oleellisesti seuraavat asiat: rummun täyttöaste, rummun kierrosnopeus, puiden kuorinta-aika, puiden ominaisuudet ja rummun rakenne. Rumpukuorinnalla on mahdollista päästä lähes 100 %:n pintapuhtauteen, mutta se ei ole taloudellisesti kannattavaa suurten puuhäviöiden vuoksi. (Niiranen & Tirri 1993, 18.)

### 3.4 Tärkeimmät kuorintatulokseen vaikuttavat tekijät

#### 3.4.1 Täyttöaste ja viipymäaika

Kuorintarummun optimaalinen täyttöaste sekä kuorinnan tehokkuuden maksimoinnin että puuhäviöiden minimoimisen kannalta määräytyy rummun mitoituksen sekä kuorittavan puun pituuden ja tiheyden mukaan. Täyttöaste vaihtelee yleensä 25–60 % niin ristikkäis- kuin yhdensuuntaiskuurinnassa. (Gullichsen & Fogerholm 1999, 361.)



KUVIO 6. Kuviossa on nähtävissä puiden liikehdintää kuorintarummussa korkealla ja matalalla täyttöasteella. Täyttöasteen ollessa matala puut hankautuvat rummussa sen tekemän kierroksen aikana huomattavasti enemmän kuin korkealla täyttöasteella. (Hedenberg 1990, 63.)

Täyttöasteella on suora vaikutus puiden liikkumiseen ja viipymäaikaan rummussa. Sen noustessa myös puiden keskimääräinen viipymäaika rummussa kasvaa, mikä tunnetusti parantaa kuorintatulosta kuoripitoisuuden kannalta. Täyttöasteen nostaminen kuitenkin rajoittaa puiden liikkumismahdollisuuksia rummun sisällä, aina tiettyyn pisteeseen asti, jolloin kuoren irtoamisen kannalta välttämätöntä, puiden välistä hankautumista esiintyy vähemmän. Liian korkea täyttöaste korreloi myös usein suurehkon puuhäviön kanssa, koska puusuman alimmat pöllit eivät välttä-

mättä kestä niiden päällä lepäävää painoa, vaan alkavat katkeilla ja murtua. (Gullichsen & Foggerholm 1999, 361.)

Puiden kuorinta-aika on useimmiten 25–60 minuutin luokkaa. Sitä säädellään rummun purkauspäässä olevalla portilla ja sulatuskuljettimen nopeutta muuttamalla. Viipymääjat ovat kuitenkin aina keskiarvoja, joten suuria pöllikohtaisia eroja esiintyy aina. Eri puulajit asettavat oman vaatimuksensa viipymääjan suhteen, mutta myös rummun täyttöasteen nostaminen vaikuttaa viipymääikaan korottavasti. Korkealla täyttöasteella on edistävää vaikutus jäisen puun kuorinnassa, mutta vastaavasti se vaikeuttaa kuoren poistumista rummusta. Teoriassa 50 %:n täyttöaste on tehokkainta kuoriutumisen kannalta, mutta se on hyvin rumpukohtaista, eivätkä puuhäviöt tällöin ole kaikkein optimaalisimmalla tasolla. (Gullichsen & Foggerholm 1999 361.)

Taulukko 3. Eri puulajien ja massanvalmistusmenetelmien vaatimia kuorinta-aikoja (mukaillen Gullichsen & Foggerholm 1999, 355.)

Puun tyyppi	Puulaji	Kuorinta-aika minuutteina
helposti kuoriutuvat puut, kuitupuut	tammi, vaahtera, useimmat trooppiset jalopuut	10–15
normaalisti kuoriutuvat, sellun- tekoon soveltuvat havupuut	useimmat pohjoiset mäntylajit, kuusi	20–25
normaalisti kuoriutuvat, sellun- tekoon soveltuvat jalopuut	esim. koivu	30
tuore hioke	esim. kuusi	30–40
sellun- tekoon soveltuva kuiva jalopuu	esim. haapa, koivu	40–60
kuiva hioke	esim. haapa, koivu	60

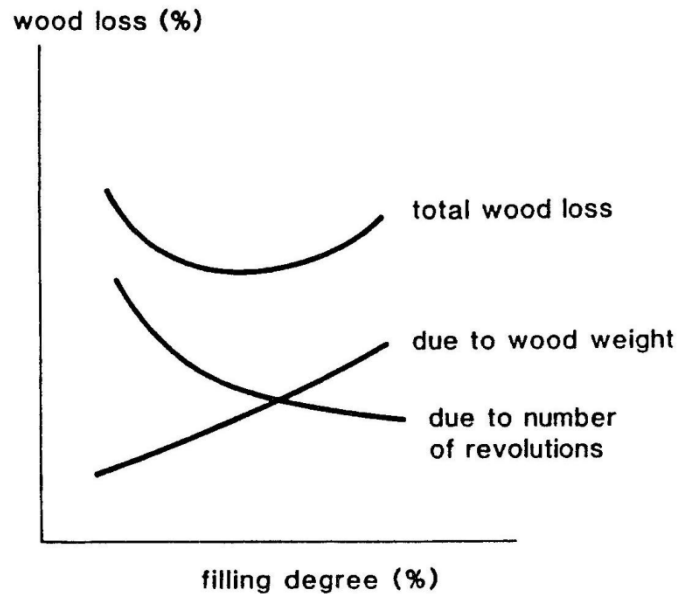
### 3.4.2 Rummun kierrosnopeus

Rummun kierrosnopeus vaikuttaa lähestulkoon lineaarisesti sen kuorintatehoon. Kierrosnopeuden kasvaessa lisääntyy myös puiden liike rummun sisällä. Tällöin puiden saamat isku- ja hankausvoimat kasvavat, jolloin kuoriutuminen tehostuu merkittävästi. Rummun kierrosnopeus ilmoitetaan usein suhteellisena arvona sen kriittisestä kierrosnopeudesta. Kriittisellä nopeudella tarkoitetaan rummun kierrosnopeuden raja-arvoa, jolloin sen kehällä olevat kappaleet (puut) eivät irtoa kehältä painovoiman vaikutuksesta, vaan pysyvät siinä kuin liimattuina keskipakoisvoiman ansiosta. Kriittinen kierrosnopeus on riippuvainen rummun halkaisijasta, joka voidaan todeta kaavasta 1. Esimerkiksi 5 m halkaisijaltaan olevan rummun kriittinen kierrosnopeus on noin 20 r/min. (Gullichsen & Fogerholm 1999, 352–353.)

$$R_{cr} = 42,3 / \sqrt{D}, \quad (1)$$

jossa D on rummun halkaisija.

Kuorintarummun optimaalinen kierrosnopeus vaihtelee suuresti yhdensuuntais- ja ristikkäiskuorinnan välillä. Yhdensuuntaiskuorinnassa puut vierivät tasaisesti, jolloin rumpua voidaan operoida varsin korkeilla kierrosnopeuksilla, jotka ovat yleensä 50 %:n luokkaa kriittisestä nopeudesta. Ristikkäiskuorinnassa kuorinta häiriintyy jo selvästi alhaisemmilla kierrosnopeuksilla. Tämän vuoksi tavanomaiset kierrosnopeudet ovat 15–25 prosenttia kriittisestä nopeudesta. Rummun kierrosnopeutta ei kuitenkaan voida asettaa liian alhaiseksi pienempien puuhäviöiden toivossa, sillä tällöin puut alkavat vierähdellä jaksoittain, jolloin kuorinta on tehotonta. (Niiranen 1983, 161–164.)

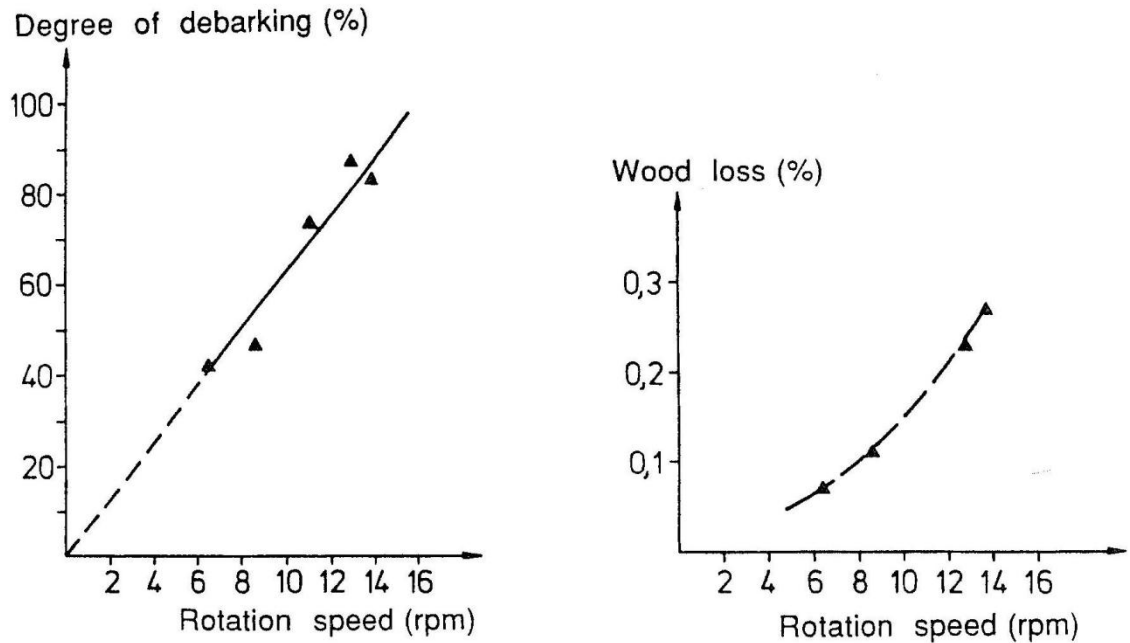


KUVIO 7. Rummun täyttöasteen ja kierrosnopeuden vaikutus puuhäviöihin (Hedenberg, 1990, 64.)

Kuten edellä on mainittu, rummun kierrosnopeuden kasvaessa puiden kuoriutumisen tehostuu. Tämä tapahtuu usein puuhäviöiden kustannuksella, sillä kuorivat voimat vahingoittavat myös puumateriaalia. Optimaalinen kierrosnopeus on riippuvainen rummun täyttöasteesta. Tämä pätee myös päinvastaisesti, mikä on havaittavissa kuviosta 7, jossa on kuvattu mm. kierrosnopeuden ja täyttöasteen vaikutusta ristikkäiskuurinnan puuhäviöihin.

Kuviosta 8 nähdään rummun kierrosnopeuden vaikutus puuhäviöihin ja kuorinta-asteeseen. Yleisesti kokonaispuuhäviöiden ja kuorinta-asteen kannalta optimaalinen kierrosnopeus on löydettävissä vallitsevalla täyttöasteella. (Hedenberg 1990, 63.)





KUVIO 8. Rummun kierrosnopeuden vaikutus puuhäviöihin ja puhtausasteeseen. (Hedenberg 1990, 64.)

### 3.4.3 Käsiteltävän puumateriaalin ominaisuudet

Rumpukuorintaan vaikuttavista tekijöistä puun laatu ja sen satunnaiset vaihtelut lienevät vaikeimmin hallittavissa olevia muuttujia kuorinnan onnistumisen kannalta. Siitä huolimatta, että otantamenetelmää käytetään monilla tehtailta puun laadun tarkkailuun, voidaan sillä ainoastaan arvioida saapuvan puutavaraerän keskimääräistä laatua, koska se suoritetaan vain pienelle osalle kokonaispuuvirrasta. Tehokkaan online-mittauksen puuttuessa puiden erilaiset ominaisuudet vaikeuttavat jatkuvasti kuorimon ajoa aiheuttaen ongelmia puhtausasteeseen ja kuoripitoisuuteen. (Isokangas & Leiviskä 2005.)

Kuorimon tehtävänä on pyrkiä mukauttamaan ajoparametrit suoraan puun laadun mukaisesti. Seuraavassa on lueteltuna puun keskeisimpiä ominaisuuksia, joiden vaihtelut aiheuttavat ongelmia kuorinnassa:

- puulaji ja sen ominaisuudet
- puun muoto ja pituus

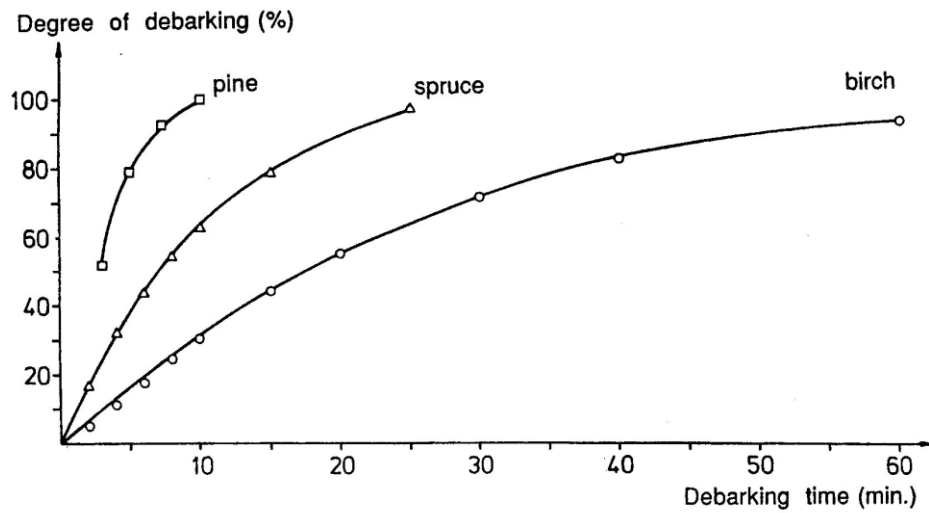
- puun kaatoaika
- puupinnan ja kuoren välinen sidoslujus, (Isokangas & Leiviskä 2005.)

Nykyään tehtaot suosivat mahdollisimman vähäistä puutavaran välivarastointia, sillä mitä tuoreempaa puu on, sitä helpompaa kuoren irrottaminen on sen pinnalta. Varsinkin useiden kuukausien mittainen pinovarastointi ilman kastelua kuivattaa puita voimakkaasti, jolloin kuori liimautuu rungon pinnalle kovaksi korkiksi. Tällöin kuorinnassa joudutaan käyttämään järeämpiä kuorinta-asetuksia, jolloin puuhäviötkin ovat automaattisesti suuremmat. (Isokangas & Leiviskä 2005.)

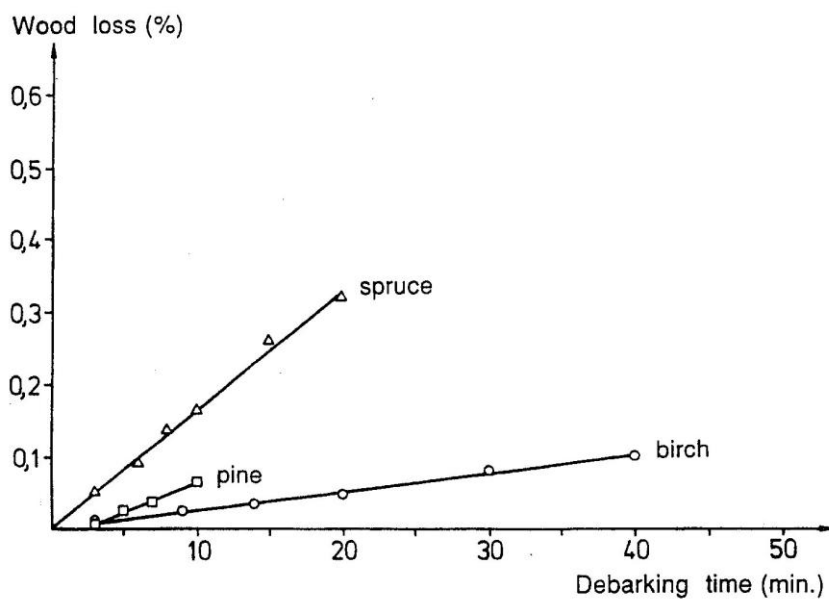
Kuoriutumiseen vaikuttaa myös kuoren oma lujuus, sillä kuorinnassa vaikuttavat voimat välittyvät kuoren kautta alempaan jälsikerrokseen. Eri puulajeilla tämä kuoren ja puupinnan välinen sidoslujus vaihtelee merkittävästi, toisaalta selkeitä eroja voi esiintyä myös saman puulajin rungoilla. Tärkein tähän vaikuttava tekijä on puiden kaatoaika. Kasvukauden alkaessa keväällä kuoren sidoslujus on heikoimmillaan, kun taas syksyllä lepokauden alkaessa sidoslujus kasvaa moninkertaiseksi kasvukauteen verrattuna. (Gullichsen & Foggerholm 1999, 355; Kärkkäinen 2007, 74–75.)

Puiden ominaisuuksien vaihtelut ovat kuitenkin suurimpia eri lajien kesken, esimerkiksi havupuut kuoriutuvat kahdesta kolmeen kertaa koivua helpommin, siitä huolimatta, että koivun kuori on ohuempaa. Myös havupuiden välillä on eroja: siinä missä männyn kova kuori irtoaa pirstoutumalla, kuusen kuori irtoaa kokonaisuina liuskoina sen alhaisemman kuoren ja puun välisen sidoslajuuden vuoksi. (Hedenberg 1990, 56–65.) Eri puulajien kuoriutumisoimaisuuksia on esitetty kuvioissa 9 ja 10.

Paras kuorintatulot saadaan, kun puut ovat sileäpintaisia ja lieriömäisiä, sillä mutkat, oksantyyvet ja juurileventymät heikentävät kuorintatulosta. Myös puiden paksuudella on suuri merkitys kuorinnan onnistumisen kannalta. Kuori irtoaa huomattavasti paremmin paksummista kuin ohuemmista puista. Ohuen kuitupuun käyttöä tulisi muutenkin välttää sen kuorinnassa esiintyvän runsaan puuhäviön vuoksi. (Isokangas & Leiviskä 2005.)



KUVIO 9. Eri puulajien vaatimia kuorinta-aikoja (Hedenberg 1990, 59.)



KUVIO 10. Eri puulajien puuhäviöitä kuorinta-ajan funktiona (Hedenberg 1990, 60)

### 3.5 Kuoren ja kuoriveden käsittely

Puiden pinnalta kuorinnassa irtoava kuoriaines ei ole mitä tahansa jätettä, vaan merkittävä energianlähde, jonka lämpöarvo riippuu sen kuiva-ainepitoisuudesta.

Suotuisa kuiva-ainepitoisuus on yli 35 %, koska tällöin kuoren polttoon ei tarvita erillisiä apupolttoaineita. Seuraavassa on lueteltuna kuoren käsittelyvaiheita:

- kuoren keräily kuljettimilta ja rummuilta
- kuoren ja veden erotus saostuskuljettimella
- vieraiden aineiden erotus kuoresta
- kuoren revintä
- kuoren puristus
- kuoren kuljetus varastoon ja polttoon (Seppälä ym. 2002, 27.)

Kuorintarummun tehtävänä on puiden kuorimisen ohella erottaa puiden pinnalta irronnut kuoriaines puuvirrasta. Irronnut kuoriaines tippuu rummussa olevien kuorinta-aukkojen läpi, ja se ohjataan rummun alapuolella olevalle kuorikuljettimelle levyjen tai kourujen avulla. Kaikki kuoriaines ei kuitenkaan erotu tässä vaiheessa, vaan osa poistuu puuvirran mukana rummusta. Rummusta poistuva puuvirta tippuu tämän jälkeen yleensä jykävärakenteiselle hihnakuljettimelle, jonka varrella ensimmäisenä on pesu- ja kuorenerotusrullasto, jossa jäljelle jääneet kuorenkappaleet erotellaan ja johdetaan takaisin kuorikuljettimelle. Myös muut epäpuhtaudet, kuten hiekka ja pöly, huuhtoutuvat puiden pinnalta pesurullastolla. Vesi ja kuori erotetaan toisistaan karkea- ja hienosaostimilla, jotka ovat kaukalomaisia rännejä, joiden pohjana toimii reikälevy. Vesi valuu reikien läpi kiertovesijärjestelmään ja kaukalon pohjalla oleva kolakuljetin siirtää kuorta seuraavaan käsittelyvaiheeseen. (Niiranen & Tirri 1993, 15.)

Seuraavassa vaiheessa kuorijakeesta seulotaan erilleen pienet ja karkeat jakeet rullastojen avulla. Tämä tehdään siksi, että varsinkin kuusesta irtoaa pitkiä kuorenkappaleita, joiden jatkokäsittely on vaikeaa. Tämän jälkeen karkeajae ohjataan kuorenrepijälle hienonnettavaksi. Hienonnuksen jälkeen kuori on tasalaatuisempaa ja helpompaa käsitellä, sillä se ei tuki kuljettimia. Myös kuoren syöttö kattilaan helpottuu ja palamispinta-ala kasvaa. (Seppälä ym. 2002, 27–28.)

Kuoren hyötylämpöarvo riippuu olennaisesti sen sisältämästä vesimäärästä. Siksi määräästä kuoriaineksesta puristetaan mahdollisimman paljon vettä ennen polttoa polttoarvon parantamiseksi. Puristukseen menevän kuoren kuiva-ainepitoisuus vaihtelee huomattavasti kuorintamenetelmän ja puulajin mukaan vaihdellen aina märkäkuoritun havun 20 %:sta kuivakuoritun koivun 55 %:iin. Puristuksen jälkeen kuoren kuiva-ainepitoisuus on 41–45 %:n luokkaa; tämän vuoksi kuivakuoritun koivun kuorta harvoin puristetaan. Puristimet ovat joko jatkuva- tai jaksottaistoimivia. (Seppälä ym. 2002, 28.)

Jos tehtaalla on käytössä aktiivilietemenetelmä, puristuksen jälkeen kuoren sekaan lisätään suotonauhapuristimelta tuleva kuivattu liete, jonka kuiva-ainepitoisuus on hieman alhaisempi kuin puristetulla kuorella. Tämän jälkeen kuori siirretään hihnakuljettimilla kuorikasalle, josta se otetaan polttoon. Suuren kosteuspitoisuuden vuoksi kuoren lämpöarvo ei ole kuitenkaan kovin suuri. Tämä vaatii erityisratkaisuja polttolaitteiden osalta, jotta kuoren sisältämä energiamäärä saataisiin hyödynnettyä. Kuoren polttoon käytetään tarkoitusta varten nimenomaan suunniteltua kuorikattilaa. Nykyään kuorikattilat toimivat lähes poikkeuksetta kiertopetiteknikalla. (Seppälä ym. 2002, 29.)

Puun kuoresta liukenee uuteaineita huomattavasti enemmän kuin varsinaisesta puuaineesta. Vesistöjä kuormittavia aineita, kuten typpeä ja fosforia, on kuorijakeessa 5–10 kertaa enemmän kuin puussa. Puun kuori myös värjää veden ruskeaksi ja liettyy pienijakoiseksi, hitaasti laskeutuvaksi lietteeksi, jota on vaikea erottaa kiertovedestä suodattamalla tai laskeuttamalla. Lisäksi puun kuorijakeet laskevat kiertoveden pH:ta jopa alle viiteen. Korroosion välttämiseksi pH:ta säädellään lisäämällä kiertoveteen kalkin vesiliuosta tai NaOH:ia, jolloin pH nousee tasolle 6–8. (Seppälä ym. 2002, 30.)

Puiden sulatuksen lisäksi vettä käytetään kuorimolla pesurullastolla puiden pesuun, kuoren keräilyyn sekä kiviloukuissa. Käytettävä vesi on kiertovettä, jotta kuorimon tuottama jäteveden määrä olisi mahdollisimman vähäinen. Kiertoveden mukana kulkeutuu myös hiekkaa, joka voidaan poistaa kiertoveden keräilyaltaan pohjalla olevan hiekkakuljettimen avulla. Hiekanerotuksen jälkeen osa kiertovedestä

palautetaan kuorintaan ja osa jatkopuhdistetaan selkeyttimissä, jotka ovat isoja ja laakeita säiliöitä, joissa raskaat jakeet painuvat pohjalle. (Seppälä ym. 2002, 30.)

Kuorinnan veden käyttöä on pyritty vähentämään mahdollisimman paljon tehtaiden jätevesikuorman ja kiertoveden puhdistuksen helpottamiseksi. Täysin suljettuun kiertoon ei kuitenkaan kannata pyrkiä, sillä vesikierron sulkeminen aiheuttaa epäpuhtauksia ja kiintoaineen rikastumista kiertoveteen sekä bakteeri- ja hajuhaittoja kuorimon sisätiloihin. Täysin kuiva kuorinta ei ole edes käyttökelpoinen, sillä talvela puut on sulatettava lämpimällä vedellä. Höyryn käytöllä pystytään kuitenkin vähentämään tarvittavan sulatusveden määrää. (Seppälä ym. 2002, 30.)

## 4 UPM KYMMENE PIETARSAAREN TEHTAAN KUORIMON TOIMINTA

UPM Pietarsaaren kuorimo on puunkäsittelyn suhteen kaksilinjainen. Puunkäsittelylaitos käsittää 2 haketuslinjaa, joissa kuoritaan pääasiassa koivua ja havua tehtaan tarpeisiin. Haketuslinjat 1 ja 2 ovat lähes identtisiä rinnakkaisprosesseja, jotka sisältävät puun sulatuksen, kuorinnan, haketuksen, seulonnan, kuljetuksen sekä hake- että polttoainevarastoihin ja kuoren-, veden- sekä lietteenkäsittelylaitteiston. Koivua ja havua pyritään ajamaan omilla linjoillaan kuorinnan tehostamiseksi. Sen vuoksi linjalla 2 ajetaan pelkästään havua ja linjalla 1 koivua muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. (UPM Pietarsaari, 2010.)

Tehtaalla ylläpidetään kohtuullista kuitupuun tehdasvarastoa tuotannon katkeamattomuuden varmistamiseksi. Kuitupuun tilausta suunniteltaessa huomioidaan tehtaan kulloinenkin käyttösuunnitelma, alkuvaraston määrä sekä tavoiteltu loppuvaraston saldo. Autolla tulevan kuitupuun määrämittaus suoritetaan painotantamenetelmällä, jossa puuraaka-aineen tuoremassa punnitaan ja muutetaan tilavuudeksi puutavara kuormista satunnaisesti valittujen otantanippujen mitattujen tilavuuspainojen avulla. (UPM Pietarsaari, 2010.)

### 4.1 Puun syöttö ja kuorinta

Puiden syöttö kuorintarumpuihin tapahtuu kahdella sulatuskuljettimella. Puut lastataan kuljettimille kahmareilla, joilla päästään tarkemmin kapasiteettivaatimuksen mukaiseen syöttömäärään. Kuljettimet ovat hydraulimoottorivetoisia, ja ne on varustettu ylilastauksen estimillä. Jäisten ja lumisten puiden sulatus tapahtuu kuljettimen katetussa sulatuskammiossa, johon suihkutetaan oletusarvoisesti 180 l/s lämmitettyä sulatusvettä. Vesi saadaan keittämön kuumavesisäiliöstä, ja sen lämpötila suihkutushetkellä on 30–60 °C. Vettä käytetään myös sulana vuodenaikana kitkan vähentämiseksi. Tällöin riittää n. 105 l/s, eikä veden lämmittäminen ole tarpeellista. Sulatusvesi poistuu sulatusosan alkupäästä olevista raoista paluukouruun ja siitä edelleen kuorimon vesisysteemiin. (UPM Pietarsaari, 2010.)

Molempien linjojen kuorintarummut ovat halkaisijaltaan 5 m ja pituudeltaan 35 m. Rummut ovat kaksilohkoisia ja jokainen lohko kannatetaan kahdella teräskiertoköydellä, jotka lepäävät telillä varustetuilla teräksisillä kantopyörillä. Kuorintarummuis- sa käytetään niin sanottua kuivakuorintamenetelmää, jolloin puu sulatetaan sulatuskuljettimella kuumennetulla kiertovedellä, eikä itse rumpuun syötetä vettä ollenkaan. Rumpujen kuoriaukot ovat 42 x 600 mm:n kokoisia ja niitä on sijoiteltuna koko rummun matkalta. Rummut on koteloitu ja varustettu hönkienkeräysputkistolla pölyn leviämisen estämiseksi ympäristöön. (UPM Pietarsaari, 2010.)

Kapasiteettitarve määrä, kuinka korkeana rummun kierrosluku pidetään säätöalueen ollessa molemmilla linjoilla 3–7 r/min. Optimaalinen täyttöaste molemmilla linjoilla on 20–30 prosenttia kapasiteetin ollessa lähellä maksimia. Kuorinta suoritetaan mahdollisimman vähäisin puuhäviöin, kuitenkin puun kuoripitoisuuden pysyessä havulla alle 1,5 % ja koivulla alle 0,5 %. (UPM Pietarsaari, 2010.)

Rumpukuorinnan jälkeen kuorittu puu johdetaan pesurullaston ja metallinilmaisimen kautta hakkuun. Pesurullaston tehtävä on pestä ja erottaa puuvirran mukana kulkeutuvat kuoren kappaleet ja muut epäpuhtaudet, kuten hiekka. Pesurullasto on katettu huuvalalla, jossa on kauhamallisia pesusuuttimia 6 kpl. Niissä voidaan käyttää joko raakavettä tai selkeytettyä kiertovettä. Rullien välistä kuori ym. epäpuhtaudet putoavat alla olevaan kuorivesikouruun, jota pitkin ne ajautuvat saostimelle. (UPM Pietarsaari, 2010.)

## **4.2 Haketus ja seulonta**

Molemmilla linjoilla on käytössä läpilaskeva hakku, joka heittää hakkeet haketas-kuun, mistä hakkeet siirretään kolmen ruuvimavun avulla sykloniin. Sykloni on varustettu tukosvaidilla, joka pysäyttää tarvittaessa ruuvit ja hakun syöttökuljettimen. Hakkeen tavoitepituus eroaa linjojen välillä. (UPM Pietarsaari, 2010.)

Ensimmäisen portaan seulonta tapahtuu kahdella vaijerikannatteisella seulalla, joissa ylimmän seulalevyn reiän halkaisija on 65 mm. Seuraavassa seulatasossa on 19 mm:n reiät ja alimmassa 8 mm:n. Ylisuuri hake putoaa seulan ylitteeseen,



mistä se johdetaan tikkuhakkuihin ja uudelleen seulontaan. Hyväksytyt jakeet puotavat seuloilta purkausruuveille ja puru kootaan seulakorin pohjalla olevaan purusuppiloon. (UPM Pietarsaari, 2010.)

### **4.3 Kuoren- , veden- ja lietteenkäsittely**

Sekä kuorintarumpujen kuoriaukoista tippuva että saostuskuljettimen vetopäistä tuleva kuori johdetaan kuorenrepijälle, jonka murskaama kuori voidaan ohjata joko kuoripuristimille tai suoraan kuorikasalle vievälle kuljettimelle. (UPM Pietarsaari puunkäsittelyn toiminta, 2010.)

Puunkäsittelyssä toteutetaan mahdollisimman pitkälle suljettua prosessia vedenkäytön suhteen. Kiertovesi palautuu sulatuskuljettimilta hiekanpoiston ja karkeasaostuskuljettimen kautta takaisin kiertovesikaivoon. Selkeyttimeltä poistuva vesimäärä on n.  $0,2 \text{ m}^3/\text{puu m}^3$ . (UPM Pietarsaari, 2010.)

Lietteen kuivaukseen käytetään suotonahapuristinta tavoitekuiva-ainetason ollessa 40 %. Puristimen toimintaa tehostetaan johtamalla lietteen joukkoon polymeeriä ja kunnostuskemikaaleja. (UPM Pietarsaari, 2010.)

## 5 KUORINTALINJAN AUTOMAATIO PIETARSAARESSA

Puunkäsittelyssä prosessin säädöt ovat kehittyneet melko hitaasti sellutehtaiden muuhun laitteistoon verrattuna ja puunkäsittelyprosessi on edelleen enemmän tai vähemmän vaikeasti hallittavissa. Kuorimoiden automaatiojärjestelmä on pääosiltaan samanlainen lähes jokaisella tehtaalla. Kuorintalinjan tehokkuuteen ja kuorinta-aikaan vaikuttaa monta tekijää. Tästä johtuen uusimmillakaan kuorimoilla valvontavastuuta ei voida laittaa kokonaan automatiikan haltuun, vaan prosessin optimointi vaatii käyttäjältä jatkuvaa valvontaa. Seuraavassa luvussa on esitelty UPM Pietarsaaren puunkäsittelyn koivulinjan automaatiojärjestelmän olennaiset komponentit, joilla vaikutetaan kuorintatuloksen onnistumiseen ja linjan ajettavuuteen.

### 5.1 Mittaukset

Prosessimittausten avulla saadaan tärkeää tietoa prosessista ja tiedetään sen tarkka tila, jolloin optimointijärjestelmällä on mahdollista ohjata prosessia haluttuun suuntaan vertaamalla nykyistä ja optimaalista tilannetta. Optimointijärjestelmällä ei kuitenkaan voida korvata itse säätöjärjestelmää, vaan se toimii ylemmän tason säätimenä. (Gullichsen & Fogerholm 1999, 483–484.)

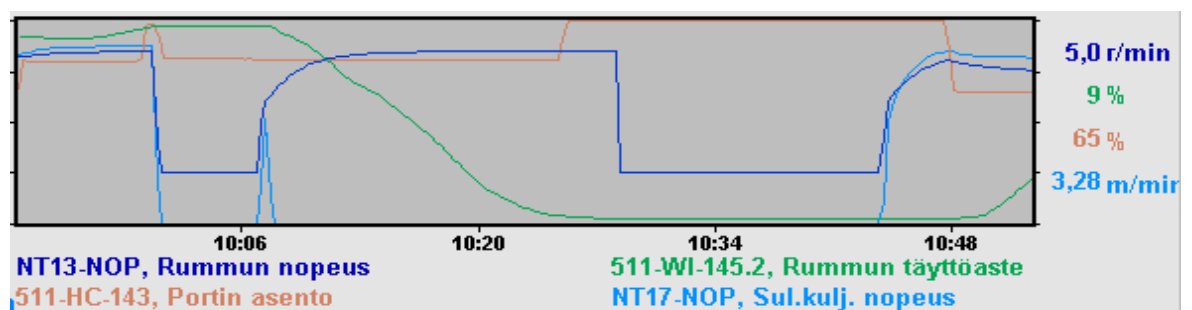
Pietarsaaren tehtaalla on kymmeniä mittauslaitteita, jotka lähettävät jatkuvasti tietoa automaatiojärjestelmään. Tehtaalla käytössä oleva järjestelmä on MetsoDNA-automaatiojärjestelmä, josta voidaan seurata prosessin tilaa eri vaiheissa. Edellytyksenä onnistuneelle kuorinnalle on järjestelmän kaikkien tasojen virheetön toiminta ja hallinta.

Kuorinnan optimilaskentoihin ja -säätöihin kuuluvat syöttökuljettimen nopeuden säätö ja siihen liittyvä puumäärän mittaus, rummun täyttöasteen mittaus, kuorintajan hallinta, portin asennon säätö, kuorinta-aste sekä kuoren mukana syntyvien puuhäviöiden hallinta. Onnistunut kuorinta edellyttää kaikkien näiden säätöjen optimaalista hallintaa. (KnowPulp 2009.)

## 5.2 Syöttökuljettimen ja rummun mittaukset

Sulatuskuljettimen puupedin korkeus mitataan WoodSmart-ohjelmiston tutkalla. Sulatustunnelin alkupään katossa on kaksi täyttömittausanturia, joiden mittaustulosten keskiarvon perusteella määritetään sulatuskuljettimella oleva puumäärä. Tämä mittaustulos välittyy kuormauskoneen kuljettajalle, joka täyttää sulatuskuljettinta täytöksen mukaisesti. WoodSmart mittaa myös sulatuskuljettimen nopeutta. Kuljettimen nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat rummun täyttöaste sekä sulatuskuljettimen puumäärä. Myös tuotantokapasiteetilla on vaikutusta kuljettimen nopeuteen, koska tuotantokapasiteettia nostaessa on kuljettimenkin syötettävä nopeammin puita kuorintarumpuun. Sulatuskuljettimen nopeuden mittauksen ja säädön tavoitteena on pitää rummun täyttöaste mahdollisimman vakiona. (Teknosavo. WoodSmart 2010a.)

Rummun täyttöaste ilmoittaa rummun puumäärän suhteessa sen tilavuuteen. Pietarsaaren kuorintarummuissa on käytössä optisen kameran ja kuva-analysointin avulla tapahtuva täyttöasteen määrittäminen. Tasaiseen täyttöasteeseen vaikuttaa suoraan puiden lastauksen tasaisuus. Jos lastaus ei ole tasaista, korjaa WoodSmart tilannetta muuttamalla syöttökuljettimen nopeutta puumäärän mukaan. Rummun kierrosnopeus pysyy kuitenkin normaalissa ajossa suhteellisen vakiona, sitä muutetaan yleensä vain, kun halutaan tehostaa tai lieventää kuorintaa. Rummun kierrosnopeudella on reseptissä määritellyt minimi- ja maksimirajat, joiden välissä WoodSmart voi säädellä kierrosnopeutta. Rummun kierroksia säädellään puiden puhtausasteen sekä puuhäviömittausten perusteella. (Teknosavo 2010a.)



KUVIO 11. Kuviossa rummusta tulevia signaaleja selityksineen (MetsoDNA-järjestelmä.)

### 5.3 Rummun portti ja tuotantokapasiteetti

Rummusta tulevan puuvirran määrää säädellään sulkuportin avulla, jonka asentomittaus kertoo portin asennon välillä 0–100 % sen liikeradasta. Asennon ollessa arvossa 100 % portti on täysin auki. WoodSmart säätää portin asentoa ajoreseptissä määriteltyjen minimi- ja maksimirajojen välissä. Mikäli rummusta tulee liian kuorellista puuta siirtyy tieto BarkSmart-mittarilta WoodSmartille, joka lisää kuorintatehoa porttia sulkemalla ja rummun kierroksia nostamalla. (Teknosavo 2010a.)

Tuotantokapasiteetin hallintaa varten Pietarsaaren kuorimolla on käytössä lasermittaus rummusta ulos tulevan puuvirran mittaukseen sekä hakun syöttökuljettimella oleva pöllivaaka, jota voidaan pitää näistä kahdesta menetelmästä luotettavampana kapasiteetin määrittämistä ajatellen. Rummun ulostulokapasiteetin avulla säädetään kuorintaa siten, että haluttu kapasiteetti saavutetaan. WoodSmart yrittää säilyttää määrätyn kapasiteetin portin asentoa säätämällä, kuitenkin puhtausastetavoitteen ehdoilla. (Teknosavo 2010a.)

### 5.4 Kuoripitoisuus ja puuhäviö

Pietarsaaren kuorimon koivulinjalla on käytössä Teknosavon optiset puhtausaste- ja puuhäviömittaukset. BarkSmart- ja ProfiSmart-mittareiden avulla voidaan tarkkailla, miten hyvin puu kuoriutuu kuorintarummussa. Tästä online-mittauksesta on merkittävä hyöty, koska puun laatu vaihtelee suuresti niin vuodenajan kuin kaa-toerän mukaan.

Laitteisto koostuu kiinteästä kamerakaapista sekä analysointiohjelman sisältävästä PC-kaapista, joka analysoi kuvan perusteella puiden puhtausasteen. ProfiSmart on sijoitettu koivunkuoren tuohikuljettimelle ja BarkSmart hakun syöttökuljettimelle. Mittarit tulisi kalibroida kerran kuukaudessa, jotta niiden tulokset pysyisivät luotettavina. (Teknosavo 2010b; Teknosavo 2010c.)

BarkSmart mittaa värikameran avulla kuoren osuutta puiden pinnasta järjestelmän analysoidessa mittausdataa reaaliaikaisesti. Tiedot lähetetään WoodSmartille, jo-

ka säättää kuorintatehoa tavoitteenaan kuoria puut optimipuhkausasteeseen. (Teknosavo 2010c.)

ProfiSmart toimii täysin samalla periaatteella kuin BarkSmart. Se mittaa värikameran avulla kuorimäärän rummun kuorikuljettimelta ja lähettää analysointijärjestelmän välityksellä tiedon kuorimon automaatiojärjestelmään. WoodSmart käyttää myös ProfiSmart-mittausta kuorintatehon ohjaukseen. Jos tapahtuu ylikuorintaa, eli kuoren joukossa on liikaa puuainesta, nopeuttaa WoodSmart puiden läpimenoa rummussa. (Teknosavo 2010b.)

## **5.5 Sulatuksen ohjaus**

Sulatuksen tehtävänä on sulattaa puiden pinta siten, että kunnollinen kuorinta olisi mahdollista. Sulatuksen optimoinnin tarkoituksena on minimoida käytettävä lämmitysenergia, jotta puiden lämmittämiseen ei tuhlataisi turhaan ylimääräistä energiaa, mutta toisaalta varmistetaan, että puut kuoriutuvat kunnolla. Järjestelmä säättää sulatusveden lämpötilaa höyryn avulla, joka vaikuttaa myös kuoren lämpötilaan ja edelleen kuoren kuiva-ainepitoisuuteen kuoripuristimen jälkeen. Tarvittaessa joudutaan säätämään myös puiden sulatusaikaa, joka on riippuvainen puulajista, puulaadusta, ulkoilmanlämpötilasta ja linjan sulatustehosta. (KnowPulp 2009; Teknosavo 2010a.)

## 6 KOKEELLINEN OSUUS

Työn kokeellisen osuuden tavoitteena oli parantaa Pietarsaaren kuorimon koivulinjan kuorintareseptiä optimaalisten ajo-olosuhteiden löytämiseksi. Linjalla on käytössä Teknosavon ylätasonsäätöjärjestelmä, joka ohjaa automaattisesti rummun kuorintaolosuhteita mm. optisia mittalaitteita apunaan käyttäen. Optimaalista ajo-ohjelmaa haettiin kuorintareseptin parametrimuutoksilla, joiden vaikutusta puuhäviöihin ja puhtausasteeseen tarkkailtiin koeajojen aikana Teknosavon ProfiSmart- ja BarkSmart-mittalaitteilla.

Pietarsaaren kuorimolla otettiin käyttöön uusi koivunkuorintalinja syksyllä 2010, johon kuuluu kiinteänä osana Teknosavon toimittama ylätasonsäätöjärjestelmä. Kuorimon havulinja oli uusittu jo muutama vuosi aikaisemmin varustettuna myös samalla Teknosavon tekniikalla.

Aloittaessani työn käytännön osuutta tammikuussa 2011 koivulinjan kuorinta-asetukset olivat jo ennestään suhteellisen hyvät, joten mullistavia parannuksia oli turha odottaa. Puuhäviöt linjalla olivat noin 3 %:n luokkaa ja puun kuoripitoisuus kuorinnan jälkeen, ainakin pidemmän keskiarvon mukaan hieman liian korkea, noin 1 %. Kuorintarummun täyttöaste oli kuorinnan aikana keskimäärin 40 %, jota pidettiin liian korkeana optimaalisen kuorinnan kannalta. Muutoksilla päätettiin kokeilla, onko kuorinta puuhäviön ja kuoripitoisuuden kannalta edullisempaa toteuttaa noin 20 %:n täyttöasteella. Muutoksissa kuitenkin noudatettiin vaadittavan tuotantokapasiteetin asettamia vaatimuksia.

### 6.1 Koeajojen suunnittelu

Työssä käytetyssä lähdekirjallisuudessa (esim. Hedenberg 1990) todetaan rummun optimaalisen täyttöasteen olevan kuoren irtoamisen kannalta 40–50 % ristikkäiskuorinnassa. Tämä ei kuitenkaan läheskään aina päde tehdasolosuhteissa, sillä kuorinnan tapahtuessa korkealla täyttöasteella puut alkavat erittäin helposti liikkua jaksottaisesti rummun sisällä. Tämän tapahtuessa, kuten teoriaosuudessa

on mainittu (ks. luku 4.3), tulee kuorinnasta tehotonta korkeasta täyttöasteesta huolimatta. Suomessakin on joitain kuorimoita, joissa koivun kuorinta toteutetaan n. 20 %:n täyttöasteella, joten käytössä olevaa ajoreseptiä päätettiin lähteä muokkaamaan pienempää täyttöastetta suosivammaksi.

Kuorintaresepti pitää sisällään lukuisia eri muuttujia, jotka vaikuttavat enemmän tai vähemmän lopulliseen kuorintatulokseen. Useimmat muuttujista eivät kuitenkaan ole kiinteitä arvoja, vaan reseptiin asetetaan kunkin muuttujan tavoitearvo, johon järjestelmä pyrkii. Tämän lisäksi näille muuttujille määritellään ylä- ja alarajat, joiden sisällä järjestelmä suorittaa hienosäätöä olosuhteiden muuttuessa. Tällaisia muuttujia ovat mm. rummun kierrosnopeus, rummun täyttöaste ja rummun portin asento. Useiden muuttujien sijasta työssä päätettiin keskittyä kaikista oleellisimmin kuorintaan vaikuttaviin ajoparametreihin, jotka ovat rummun kierrosnopeus [r/min], rummun täyttöaste [%], rummun portin asento [%] ja tuotantokapasiteetti [t/h], johon nämä kaikki muut edellä mainitut tekijät vaikuttavat.

Viikolla 4 suoritettiin lyhyitä, noin tunnin mittaisia alustavia koeajoja, joiden aikana WoodSmart-järjestelmä otettiin pois käytöstä ja linjaa ajettiin käsiajolla. Koeajoissa muuteltiin tuotantokapasiteettia, rummun portin asentoa ja rummun kierroslukua. Näitä koeajoja ei sen tarkemmin dokumentoitu niiden vähäisen tieteellisen merkityksen vuoksi, sillä varsinkin käsiajolla ajettaessa prosessia on vaikea saada vakaaksi lyhyen ajan aikana. Tämän lisäksi muuteltiin useampaa muuttujaa kerrallaan, joten olisi ollut vaikeaa näyttää toteen, missä suhteessa eri muutokset vaikuttivat lopputulokseen. Näistä seikoista huolimatta kokeiluilla saatiin arvokasta ja suuntaa antavaa tietoa eri ajoparametrien muutosten vaikutuksesta kuorintatulokseen.

Alustavien koeajojen perusteella suunniteltiin ensimmäiseen, varsinaiseen koeajoreseptiin tehtävät muutokset alkuperäiseen reseptiin nähden. Tavoitetäyttöasteeksi asetettiin 23 %, joka tuntui sopivalta aiempien koeajojen perusteella. Vastaavan tuotantokapasiteetin saavuttamiseksi rummun portin liikerajoja muutettiin puolestaan avarampaan suuntaan ja tarvittavan kuorinnan varmistamiseksi rummun ohjekierroslukua nostettiin hieman. Nämä muutokset ovat tarkemmin nähtävissä taulukosta 5, jossa on esiteltyä muutokset alkuperäiseen kuorintareseptiin nähden.

Itse alkuperäinen kuorintaresepti on nähtävissä kokonaisuudessaan liitteessä 2. Seuraavien koeajojen reseptimuutokset tehtiin ensimmäisen koeajon antamien tulosten perusteella. Koeajoja suoritettiin yhteensä 4 ja niiden aikataulut löytyvät taulukosta 4.

## 6.2 Koeajojen toteutus

Koeajojen aloittamista viivytti ProfiSmart-puuhäviömittarin lampun hajoaminen tammi-helmikuun vaihteessa. Uuden lampun saapuminen kesti useita viikkoja, eikä koeajoja voitu suorittaa puuhäviömittauksen ollessa tilapäisesti poissa pelistä. Tämän lisäksi koivulinjalla haketettiin ajoittain lyhyitä jaksoja havua, joka myös osaltaan viivästytti koeajojen aikatauluja.

Tehdasoloissa, puun mittayksikkönä käytetään kuorellista kiintokuutiota, joka ilmaisee puun todellisen tilavuuden. Raakapuun tapauksessa tähän tilavuuteen kuuluu siis myös kuoriaines. Kuorimolla käsitellään kuorellista ja kuoretonta puuta sekä haketta, joten tästä johtuen on syytä tarkentaa, onko kyseessä milloinkin kuoreton vai kuorellinen puutavara sekaannusten välttämiseksi. Kuorettomat kiintokuutiot voidaan muuttaa kuorelliseksi lisäämällä niihin arvioitu kuoren määrä. Puun pinnalla olevan kuoriaineksen määrä vaihtelee mm. puulajin, puun iän, kasvupaikan ja korjuumenetelmän mukaan. Käytännössä kuoren määrä on aina arvio, joka perustuu tilastollisiin menetelmiin.

Pietarsaaren kuorimon automaatiojärjestelmässä osa mittauksista ilmoitti tuotannon kuoripäällisenä puuna, kuten järjestelmään asetettava tuotantokapasiteettita-voite, ja osa taas kuorettomina kiintokuutioina. Muuntokertoimina järjestelmässä olivat koivun tuoretiheys  $860 \text{ kg/m}^3$ , puuhäviöt kuorinnassa 3,5 % ja kuoren prosentuaalinen osuus puusta 10 %. Koska nämä arvot perustuvat edellä mainittuihin tilastollisiin keskiarvoihin, päätettiin epävarmuustekijöiden vähentämiseksi työn suorittamisen aikana ja tulosten tarkastelussa käyttää tuotantokapasiteetin yhteydessä yksikkönä kuoretonta kiintokuutiota. Tämä arvo saatiin keskiarvona, jonka järjestelmä muunsi suoraan pöllivaa'an kg/s-näyttämästä. Pöllivaakamittaus tapah-



tuu radiometrisesti hakun syöttökuljettimelta, ja sitä voidaan pitää suhteellisen luotettavana mittauksena.

Ohjausjärjestelmään asetettava tuotantokapasiteettitavoite aiheutti hämmennystä, sillä sen yksikkönä oletettiin olevan kuoripäällisen puun syöttö rumpuun, mutta käytännössä muunnettaessa kuorettomiksi kiintokuutioiksi todellinen ajovauhti jäi vielä jonkin verran pienemmäksi. Tämä johtui todennäköisesti edellä mainituista epävarmuustekijöistä, jonka vuoksi koeajojen tuotantotavoitteita voidaan pitää ai-noastaan nimellisinä.

Koeajojen pituudeksi päätettiin valita 16 h ja niiden aikana pyrittiin voittamaan seuraavat haasteet vertailukelpoisten tulosten saamiseksi:

- puun syötön epätasaisuus
- sulatuskuljettimen ja rumpun pysähtyminen
- sulatusveden ja -höyryn määrän epätasaisuus
- mittausten epätarkkuus
- muut häiriötilanteet

#### TAULUKKO 4. Koeajojen aikataulut

<b>Koeajojen aikataulut</b>	
1. Koeajo	7.–8.3.2011
2. Koeajo	8.–9.3.2011
3. Koeajo	9.–10.3.2011
4. Koeajo	10.–11.3.2011

Ensimmäisenä koeajona suoritettiin ns. standardiajomalli, jossa vanhalla reseptillä ajettiin 16 h:n mittainen pätkä. Tämä suoritettiin siksi, että saataisiin vertailupohja, johon muiden koeajojen tuloksia voitaisiin verrata.

Seuraavaksi suoritettiin koeajo 2 käyttäen ensimmäistä, varsinaista koeajoreseptiä. Koeajoa 2 varten tehdyt ajoparametrimuutokset on esitetty alla olevassa taulukossa 5. Koeajoissa 1 ja 2 asetettiin tuotantotavoitteeksi järjestelmästä 300 k-m<sup>3</sup>/h.

TAULUKKO 5. Koeajo 2, ajoparametreihin tehdyt muutokset

<b>Koeajo 2.</b>		
	<b>vanha</b>	<b>uusi</b>
<b>Rumpu - kierrosnopeus - ohje</b>	5,3 r/min	5,5 r/min
<b>Portti - asento - ohje</b>	56 %	80 %
<b>Portti - asento - minimi</b>	50 %	60 %
<b>Portti - asento - maksimi</b>	64 %	90 %
<b>Täyttöaste - ohje</b>	38 %	23 %
<b>Täyttöaste - pysäytys</b>	55 %	35 %
<b>Täyttöaste - käynnistys</b>	37 %	22 %

Koeajossa 2 ilmeni vaikeuksia tavoitteeksi asetetun rummun täyttöasteen saavuttamisessa. Tämän vuoksi päätettiin kokeilla, onko pienemmän tuotantokapasiteetin käytöllä vaikutusta asiaan. Sen vuoksi koeajo 3 toteutettiin tuotantokapasiteetin asetusarvolla  $250 \text{ k-m}^3/\text{h}$ . Koeajoreseptiin koeajoa 2 varten tehdyt muutokset pidettiin ennallaan, joiden lisäksi tehtiin taulukon 6 mukaiset muutokset sulatuskuljettimen nopeusrajoihin matalamman täyttöasteen saavuttamiseksi.

TAULUKKO 6. Koeajo 3, ajoparametreihin tehdyt muutokset

<b>Koeajo 3.</b>		
	<b>vanha</b>	<b>uusi</b>
<b>SK - nopeus - ohje</b>	2,4 m/min	2,0 m/min
<b>SK - nopeus - minimi</b>	2,2 m/min	1,6 m/min

Koeajoa 4 varten tehtiin kuorinnan voimistamiseksi muutoksia rummun portin liikerajoihin sekä rummun tavoitekierrosnopeuteen (TAULUKKO 7.). Portin liikerata-

alue pidettiin samansuuruisena, mutta minimiä ja maksimia laskettiin 5 %. Muut ajoparametreista pidettiin vastaavina koeajon 3 kanssa.

TAULUKKO 7. Koeajo 4, ajoparametreihin tehdyt muutokset

<b>Koeajo 4.</b>		
	<b>vanha</b>	<b>uusi</b>
<b>Rumpu - kierros- nopeus - ohje</b>	5,5 r/min	5,8 r/min
<b>Portti - asento - ohje</b>	80 %	75 %
<b>Portti - asento - minimi</b>	60 %	55 %
<b>Portti - asento - maksimi</b>	90 %	85 %

Koeajojen suorittaminen lopetettiin ajon 4. jälkeen, sillä tutkimusmateriaalia katsottiin olevan tarpeeksi johtopäätösten tekemiseen eikä siten lisäajoille ollut tarvetta. Normaalijossa koivulinjalla käytettiin kapasiteettipyyntinä 300 k–m<sup>3</sup>/h, jota päätettiin käyttää myös tuotantotavoitteena koeajoissa 1 ja 2. Koeajoissa 3 ja 4 taas kokeiltiin pienempää kapasiteettitavoitetta, jolloin tuotantotavoitteena oli 250 k–m<sup>3</sup>/h. Koeajojen todellinen kapasiteetti sekä muut tulokset laskettiin tehtaalla käytössä olevan Aspen Process Explorer -ohjelmiston kuvaajista. Koeajojen kapasiteetteja ja niiden riittävyyttä sekä muita tuloksia käsitellään tarkemmin luvussa 7.

## 7 TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä luvussa tarkastellaan lähemmin koeajojen tuloksia rummun täyttöasteen, puun puhtausasteen, puuhäviöiden ja tuotantokapasiteettivaatimusten näkökulmasta. Kaikkien koeajojaksojen tulokset löytyvät koottuna taulukosta 8. Tuloksia on myös havainnollistettu kuvaajina liitteessä 3. Koeajojen perusteella saadut todelliset ajonopeudet, puun kuoripitoisuudet, kuoren puupitoisuudet, rummun täyttöasteet, rummun kierrosnopeudet ja rummun portin asennot on laskettu mittalaitteiden Aspen Process Explorer-ohjelmistoon kokoamien kuvaajien perusteella. Kaikki tulokset mukaan lukien liite 3 ovat ajomallien keskiarvolukuja.

TAULUKKO 8. Koeajojen tuloksia

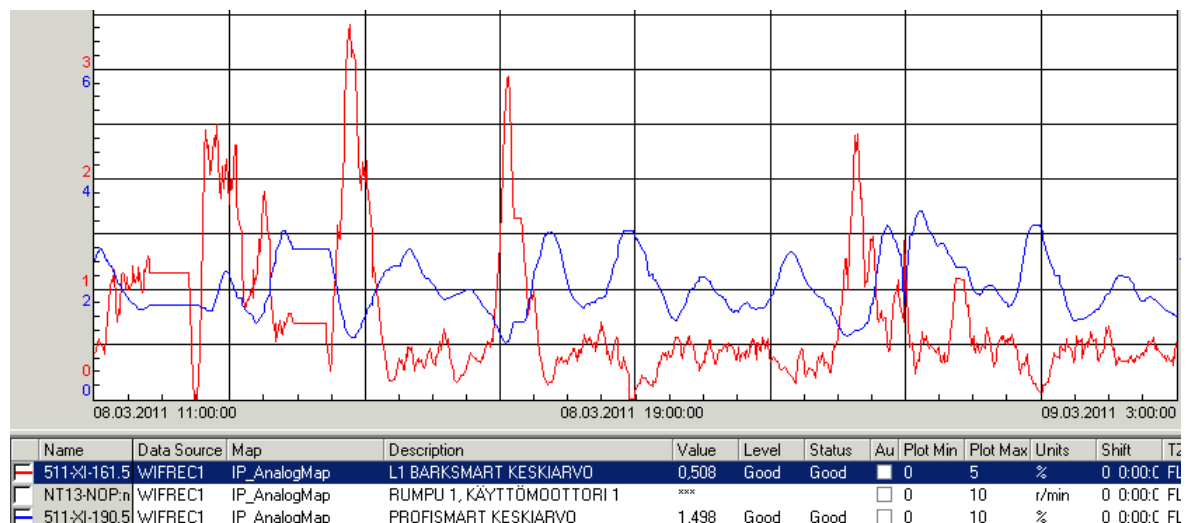
	Koeajo 1.	Koeajo 2.	Koeajo 3.	Koeajo 4.
<b>Tuotantotavoite - nimellinen - k-m<sup>3</sup>/h</b>	260	260	216	216
<b>Tuotantotavoite - toteutunut - k-m<sup>3</sup>/h</b>	234	223	192	183
<b>Kuoripitoisuus - tavoite - %</b>	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Kuoripitoisuus - toteutunut - %</b>	0,70	0,90	0,55	0,45
<b>Puuhäviö - tavoite - %</b>	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>Puuhäviö - toteutunut - %</b>	2,1	2,2	2,0	2,4
<b>Täyttöaste - tavoite - %</b>	38	23	23	23
<b>Täyttöaste - toteutunut - %</b>	37	31	28	27
<b>Rummun kierrosnopeus - tavoite - r/min</b>	5,3	5,5	5,5	5,8
<b>Rummun kierrosnopeus - toteutunut - r/min</b>	5,8	6,3	6,0	6,1
<b>Rummun portti - tavoite - %</b>	56	80	80	75
<b>Rummun portti - toteutunut - %</b>	59	72	74	73

### 7.1 Puuhäviö ja puhtausaste

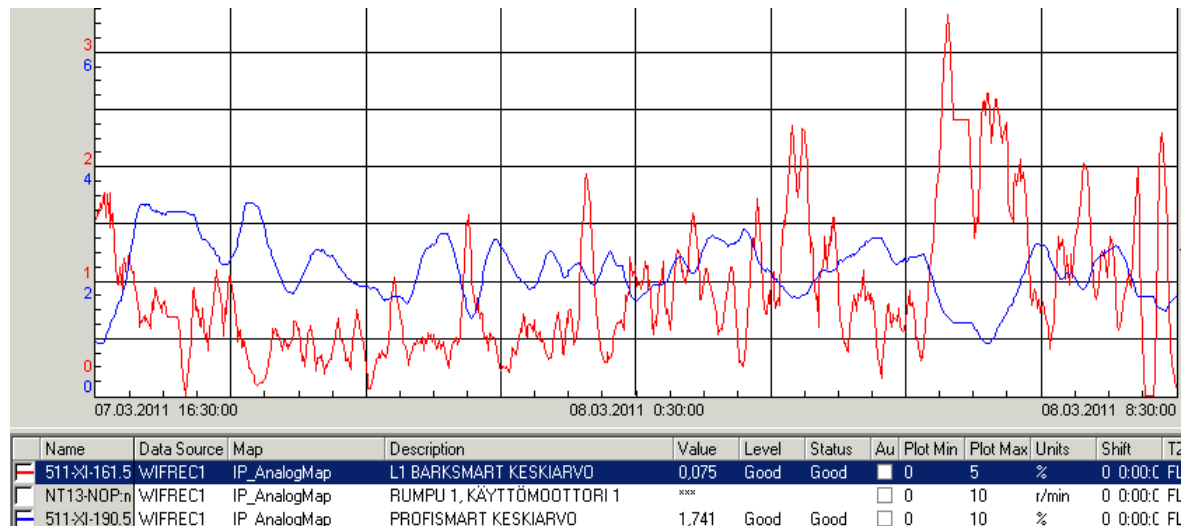
Puuhäviöiden muodostumisen kannalta kriittisimpiä säätöparametreja ovat rummun täyttöaste ja rummun kierrosluku, joista jälkimmäistä voidaan pitää merkittävimpänä. Rummun täyttöasteen ollessa liian korkea alkavat pöllisuman alimmat puut murskaantua niiden päällä lepäävän massan vuoksi, jolloin syntyneet tikut ja säleet poistuvat prosessista puuhäviöinä. Rummun kierrosnopeudella on merkittävä vaikutus puuhäviöiden syntymiseen, sillä jo 0,2 r/min muutos vaikuttaa selkeästi

kuorintatehoon. Koeajossa 2 pyrittiin laskemaan rummun täyttöastetta edellä mainitun murskaantumisen vähentämiseksi. Rummun täyttöasteen pienentäminen johtaa kuitenkin puiden välisien hankausvoimien vähentymiseen, jolloin kuorinta-teho heikkenee. Tämän muutoksen kompensoimiseksi ja puhtausastetavoitteen (ks. luku 3.3) saavuttamiseksi rummun ohjekierroslukua nostettiin hieman koeajoa 2 varten. Kierrosnopeuden ja täyttöasteen muutos edellyttää myös muiden säätö-parametrien viritystä, jotta tuotantovauhti pysyisi tavoitteessa.

Tarkastellaan seuraavaksi kahta koeajotilannetta, joissa ensimmäisessä on ajettu vanhalla reseptillä käyttäen suurempaa täyttöastetta ja pienempää kierroslukua ja jälkimmäisessä, koeajossa 2, pienemmällä täytöllä ja suuremmilla rummun kierroksilla. Kuviossa 12 on ensimmäisen ajomallin puuhäviö- ja kuoripitoisuuskäyrät tietyinä ajanjaksona. Kuviossa 13 on toisen ajomallin vastaavat käyrät. Kuvioista voidaan huomata, kuinka koeajon 2 kuoripitoisuudet ovat selvästi korkeammat kuin vanhalla reseptillä ajattaessa. Selitys tähän löytyy varsin korkeasta tuotantokapasiteettitavoitteesta, joka yhdessä rummun portin asentoon vaikuttavan puhtausastetavoitteen kanssa aiheutti rummun ylitäyttymisen ohjearvoon nähden. Puuhäviöt puolestaan olivat samaa luokkaa molemmissa koeajoissa (TAULUKKO 8), josta voidaan päätellä, että pienemmän täyttöasteen tuomat edut kompensoituivat kierrosluvun nousun myötä.



KUVIO 12. Koeajon 1 puuhäviö ja kuoripitoisuus. Kuvassa ylhäältä alaspäin: kuoripitoisuus [%] ja puuhäviö [%]



KUVIO 13. Koeajon 2 puuhäviö ja kuoripitoisuus. Kuvassa ylhäältä alaspäin: kuoripitoisuus [%] ja puuhäviö [%]

Koeajot 3 ja 4 suoritettiin käyttäen maltillisempaa tuotantokapasiteettia, jonka vaikutukset olivat heti nähtävissä parempana puun puhtausasteena kuorinnan jälkeen. Myös puuhäviöt pysyivät samalla tasolla aiempien koeajojen kanssa paremmasta kuorintatuloksesta huolimatta, vaikka koeajossa 4 oli huomattavissa pientä nousua ajoparametreihin tehtyjen, kuorintaa tehostavien, muutosten johdosta (TAULUKKO 7). Koeajojen 3 ja 4 puuhäviö- ja kuoripitoisuuskäyrät löytyvät liitteestä 4.

## 7.2 Tuotantokapasiteetti

Koeajoissa 1 ja 2 käytettiin tuotantokapasiteettitavoitteena  $300 \text{ k-m}^3/\text{h}$ , joka muunnettiin kuorellisesta kuorettomaksi kiintokuutioksi (ks. luku 6.3) kaavojen 2 ja 3 avulla.

$$K_{\text{kuoreton}} = (100 \% / (100 \% - \text{Kuori}\%)) / K_{\text{kuorellinen}} \quad (2)$$

jossa  $K_{\text{kuoreton}}$  on tuotanto kuorettomina kiintokuutioina,  $K_{\text{kuorellinen}}$  on tuotantotavoite kuorellisina kiintokuutioina ja  $K_{\text{uori\%}}$  on puun kuoren prosenttiosuus sen koko tilavuudesta.

Tässä tapauksessa:

$$K_{\text{kuoreton}} = (100 \% / (100 \% - 10 \%)) / 300 \text{ k-m}^3/\text{h} = 270 \text{ k-m}^3/\text{h}$$

Kun  $K_{\text{kuoreton}}$ : sta vielä vähennettiin järjestelmään määritelty oletuspuuhäviö koivun kuorinnassa ( $p_{\text{koivu}}$ ) saatiin kaavan 3 avulla selville koeajoissa 1 ja 2 käytetty nimellistuotantokapasiteettitavoite kuorettomina kiintokuutioina.

$$K_{\text{nim.}} = K_{\text{kuoreton}} \times p_{\text{koivu}} \tag{3}$$

Tässä tapauksessa:

$$K_{\text{nim.}} = 270 \text{ k-m}^3/\text{h} \times (1 - 0,035) = 260,55 \text{ k-m}^3/\text{h} \rightarrow \text{n. } 260 \text{ k-m}^3/\text{h}$$

Koeajoissa 3 ja 4 puolestaan käytettiin tuotantokapasiteettitavoitteena  $250 \text{ k-m}^3/\text{h}$ , josta laskettiin myös edellä mainittuja kaavoja käyttäen nimellistuotantokapasiteettitavoite kuorettomina kiintokuutioina. Arvoksi saadaan kaavojen avulla  $216 \text{ k-m}^3/\text{h}$ .

Koeajojen tuloksista käy ilmi, että tuotantokapasiteetilla on suuri vaikutus linjan kuorintatulokseen. WoodSmart-järjestelmä säätää tuotantovauhtia rummun portin asennon ja sulatuskuljettimen nopeuden avulla. Nämä ajoparametrit vaikuttavat myös rummun täyttöasteeseen, sekä tämän lisäksi portin asentoa käytetään kuorinnan puhtausasteen säätöön rummun kierrosluvun ohella. Rummun portin asentoa ja täyttöastetta tarkastellaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

Pienemmän tuotantokapasiteetin vuoksi koeajoissa 3 ja 4 päästiin puhtausastetavoitteeseen tai ainakin hyvin lähelle sitä (TAULUKKO 8). Koeajojen 3 ja 4 tuotantokapasiteetit eivät kuitenkaan ole riittävät, sillä ajoittaisten laitevikojen ja muiden pidempien tuotantokatkoksien vuoksi kuorimon on kyettävä pitämään yllä noin 225 k-m<sup>3</sup> tuntikapasiteetti jatkoprosessin hakkeen saannin turvaamiseksi. Koeajojen 1 ja 2 kapasiteetti oli riittävä, mutta niissä ei saavutettu tavoitteena ollutta 0,5 %:n puhtausastetta. Tämä johtuu osittain siitä, että kapasiteetin kasvaessa myös sulatuskuljettimen nopeus nousee, jolloin puiden viipymäaika rummussa jää lyhyemmäksi. Huomionarvoista on se, että vanhalla reseptillä saavutettiin parempi kuorintatulos kuin koeajomallilla 2.

### 7.3 Rummun portti ja täyttöaste

Vanhassa reseptissä rummun portille oli määriteltynä liikerajat (ks. luku 5.3) 50 %:sta 61 %:iin, joten skaalan suuruudeksi muodostui 11 prosenttiyksikköä. Koeajoissa 2, 3 ja 4 rummun portti määriteltiin toimimaan korkeammilla alueilla, sillä täyttöasteen pienentyessä portin on kyettävä aukeamaan enemmän, jotta kuorittu puu pääsee poistumaan rummusta. Skaalan suuruudeksi muodostui kaikissa koeajoissa 30 % (TAULUKKO 5 ja TAULUKKO 7), sillä portin alaraja asetettiin tarpeeksi alas, jotta WoodSmart kykenisi tarvittaessa voimistamaan kuorintaa.

Kuviossa 14 on nähtävissä vanhalla reseptillä toteutetun koeajon 1 rummun täyttöasteen ja rummun portin asennon kuvaajat. Kuvaajista nähdään, että täyttöaste pysyttelee koko koeajon ajan lähellä 38 %:n tavoitetta. Rummun portin asennon huomataan käyttävän koko käytössä olevaa 11 %:n skaalaa käyden välillä sekä minimissä että maksimissa.

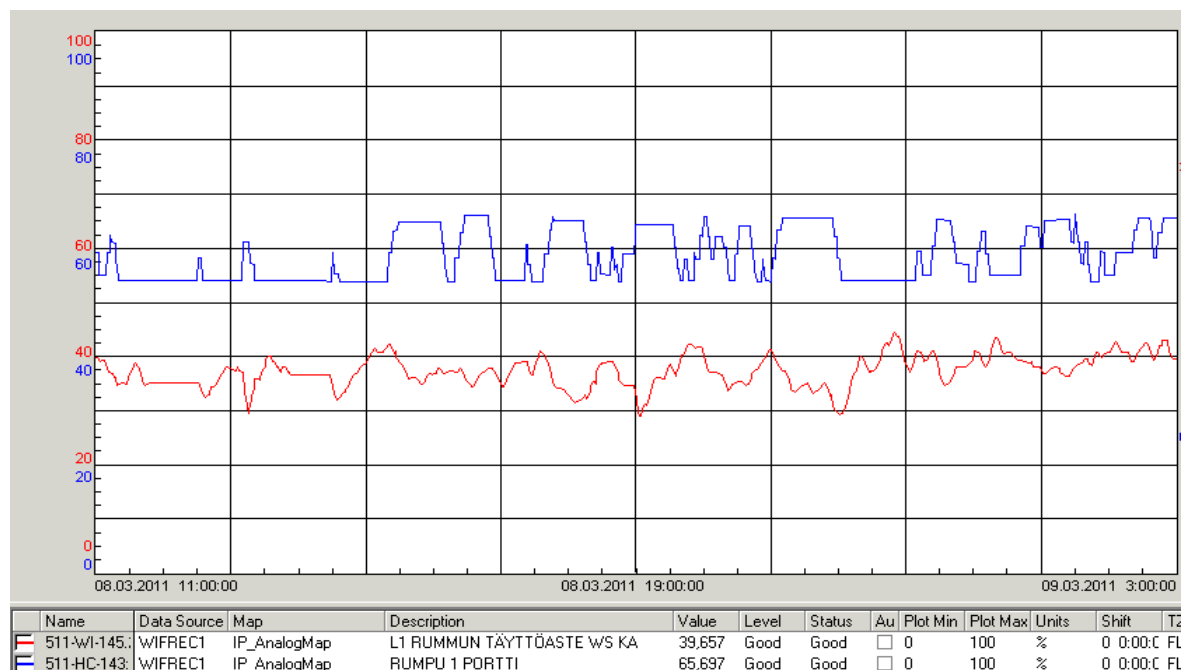
Kuviossa 15 on toisen koeajon vastaavat kuvaajat. Täyttöastekuvaajasta käy heti ilmi, että koeajossa 2 ei saavutettu tavoitteena ollutta 23 %:n rummun täyttöastetta, vaan täyttöaste pysytteli koko koeajon ajan 30 %:n tienoilla. Syy tähän löytyy varsin korkeasta tuotantovauhdista ja puun huonosta kuoriutuvuudesta. Kapasiteettivaatimuksen ollessa korkeampi sulatuskuljetin syöttää puita rumpuun suu-



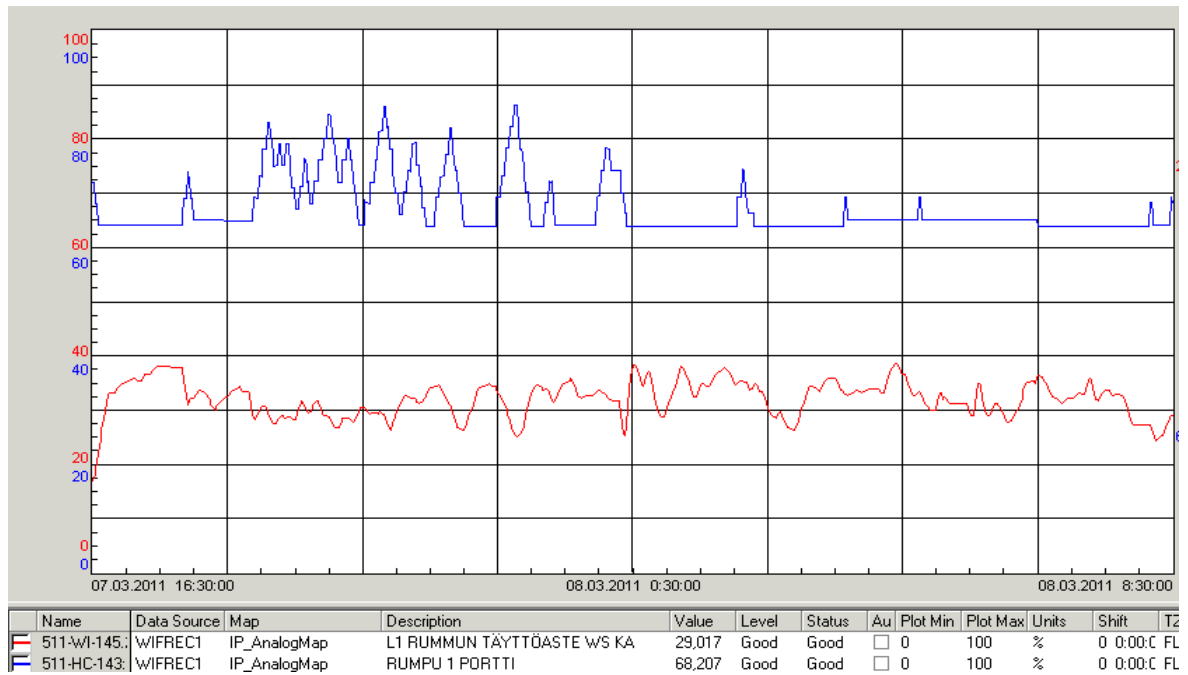
remmalla nopeudella. Säilyttääkseen tuotantovauhdin pienemmällä täyttöasteella joutui WoodSmart nostamaan rummun kierroslukua, joka käy ilmi taulukosta 8.

Pelkkä kierrosluvun nosto ei kuitenkaan riittänyt tehostamaan kuorintaa tarpeeksi, vaan WoodSmart joutui myös sulkemaan rummun porttia. Portin asennon kuvaajasta nähdään, että alun vuoristoratamaisen sahailun jälkeen portin asento pysyteli lähellä minimiasentoa koeajon puolenvälin jälkeen. Tämä aiheutti rummun ylitäyttymisen ohjearvoon nähden, joka selittää myös koeajon korkean kuoripitoisuuden (TAULUKKO 8).

Koeajossa 2 käytettiin täyttöasteen pysäytysrajana 35 %:n arvoa (TAULUKKO 5). Pysäytysrajaa voidaan pitää eräänlaisena raja-arvona, jonka ylittyessä WoodSmart pysäyttää sulatuskuljettimen rummun ylitäytön estämiseksi. Asettamalla tämä raja alhaisemmaksi oltaisiin koeajossa voitu saavuttaa matalampi rummun täyttöaste, mutta muita ongelmia olisi todennäköisesti esiintynyt. Sulatuskuljettimen jatkuva pysähtely aiheuttaa kuorintaprosessille varsinkin puuhäviön kannalta haitallisia syöttökatoja. Tämä muutos olisi myös luultavasti vaikuttanut tuotantokapasiteettiin negatiivisesti.



KUVIO 14. Koeajon 1 rummun portin ja rummun täyttöasteen kuvaajat. Kuvassa ylhäältä alaspäin: rummun portin asento [%] ja rummun täyttöaste [%] (Aspen Process Explorer.)



KUVIO 15. Koeajon 2 rummun portin ja rummun täyttöasteen kuvaajat. Ylhäältä alaspäin: rummun portin asento [%] ja rummun täyttöaste [%] (Aspen Process Explorer.)

Koeajojen 3 ja 4 rummun portin asennon ja täyttöasteen kuvaajat olivat lähes vastaavia koeajomalli 2. kanssa, sillä poikkeuksella, että rummun portti sahasi vuoris-  
toratamaisesti läpi molempien koeajojaksojen. Myös rummun täyttöasteissa pääs-  
tiin hieman alhaisempiin lukemiin (TAULUKKO 8). Kuvaajat löytyvät liitteestä 5.

#### 7.4 Johtopäätökset koetuloksista

Koeajomallien 2, 3 ja 4 tulosten perusteella voidaan päätellä, että koivun kuorin-  
nan toteuttaminen pienemmällä, noin 20 %:n täyttöasteella on vaikeasti toteutetta-  
vissa Pietarsaaren tehtaassa olosuhteissa. Koeajoissa tavoitteena ollut 23 %:n  
täyttöastetta ei pystytty pitämään yllä minkään koeajomallin aikana. Täyttöaste-  
voitteesta jäätettiin keskiarvallisesti koeajon mukaan 4–8 %. Keskiarvojen lisäksi  
täyttöasteissa esiintyi suuria hetkellisiä vaihteluita. Nämä vaihtelut johtuivat rum-  
mun portin asennon vuoris-  
toratamaisesta sahailusta ääripäästä toiseen läpi koe-  
ajojaksojen. Portin sahailu johtui sen käytössä olleesta varsin laajasta liikerata-  
alueesta, sillä portti asetettiin toimimaan avarammalla alueella, jotta pienemmän  
täyttöasteen vallitessa kuorittu puu pääsisi poistumaan rummista.

Varsinaisten ajoparametrien lisäksi myös puunsyötöllä on merkittävä vaikutus kuorintaprosessin toimintaan. Siitä huolimatta, että tehtaalla on käytössä nykyaikainen, kahmareilla toteutettava puunsyöttö, on kyse kuitenkin inhimillisestä työstä, jonka vuoksi vaihteluita esiintyy esimerkiksi vuoronvaihtojen yhteydessä. Koeajojen aikana oli havaittavissa sulatuskuljettimen täyttöasteen vaihteluita, jotka puolestaan johtivat sulatuskuljettimen nopeuden vaihteluihin. Nämä poikkeamat ovat haitallisia, sillä WoodSmart säätelee sulatuksen nopeudella rummun täyttöastetta ja tuotantokapasiteettia. Näiden vaihtelujen vuoksi järjestelmä ei pystynyt vakiinnuttamaan prosessia, vaan se eli jatkuvassa muutoksessa läpi koeajojaksojen. Vanhassa ajomallissa puolestaan esiintyy huomattavasti vähemmän vaihteluita, sillä siinä rummun portin liikerata-alue on rajattu 11 prosenttiyksikköön.

Kuorimon tuotantokapasiteettivaatimukset huomioon ottaen mitkään kokeilluista ajomalleista eivät antaneet lupaavia tuloksia. Kuorinnan toteuttaminen pienemmällä täyttöasteella vaatisi rauhallisempaa ajovauhtia, jolloin rummun portin liikerata-alue voitaisiin rajata tiukemmin ja kuorintatuloksen tehostaminen onnistuisi tarvittaessa pääosin rummun kierroslukua nostamalla. Pientä rummun täyttöastetta koivun kuorinnassaan käyttävillä tehtailla on todennäköisesti suhteellisesti suurempi kuorimo tehtaan muuhun kokoon nähden kuin Pietarsaaressa, jolloin kuorinta on mahdollista toteuttaa hitaammilla ajonopeuksilla. Suuria säästöjä hitaammilla ajomalleilla ei kuitenkaan todennäköisesti saavutettaisi, sillä linjan tämänhetkiset puuhäviöt vanhalla ajomallilla ovat 2 %:n luokkaa, jotka sijoittuvat kirjallisuusarvojen 1–5 % (Niiranen & Tirri 1993, 18.) alemmalle puoliskolle. Koivu on myös puulajina vaikea kuorittava, kun verrataan esimerkiksi havuun.

Itse koeajot suoritettiin ulkolämpötilan pyöriessä nollan celsiusasteen tienoilla, mutta linjan kuorintatulosta tarkkailtiin talven ajan, jolloin ulkolämpötila oli ajoittain jopa 30 astetta pakkasen puolella. Kovillakaan pakkasilla ei kuitenkaan ollut merkittävää negatiivista vaikutusta linjan kuorintatehoon, joten linjan sulatuskapasiteettia voidaan pitää riittävänä tehtaan tarpeisiin.

## 7.5 Parannusehdotuksia kuoripitoisuuden vähentämiseksi

Koeajojen perusteella ei löydetty alkuperäistä ajomallia korvaavaa kuorintareseptiä, sillä alkuperäisellä reseptillä saavutettiin koeajoissa paras kuorintatulokset kaikki vaatimukset huomioon ottaen. Alkuperäisen ajomallin ongelmana on kuitenkin ajoittain liian korkea kuoripitoisuus. Osasyyn tähän löytynee automaatiojärjestelmään asetettavasta tuotantokapasiteettitavoitteesta, joka normaaliajossa poikkeaa reseptin vastaavasta arvosta. Tämän vuoksi automaatiojärjestelmä laskee hieman reseptistä poikkeavat arvot rummun portin ylä- ja alarajalle sekä sulatuskuljettimen minimi- että maksiminopeudelle.

Yllä mainittujen muutosten takia rummun portin todelliset rajat ovat normaaliajossa 3 % reseptien arvoja korkeammat ja sulatuskuljettimen nopeudet 0,3 m/min korkeammat. Kuoripitoisuuden vähentämiseksi reseptin kapasiteettitavoite tulisi kalibroida vastaamaan automaatiojärjestelmässä käytettävää 300 k-m<sup>3</sup>/h, jolloin portin ja sulatuskuljettimen käytössä olevat rajat vastaisivat reseptin arvoja. Portin maksimiasento tulisi kuitenkin jättää 65 %:iin ylikuorinnan välttämiseksi. Myös täyttöasteen pysäytysrajan voisi laskea 45 %:iin, jolloin se paremmin estäisi rummun ylitäyttymisen ja samalla puuhäviöiden nousun.

Edellä mainitut muutokset todennäköisesti nostaisivat linjan puuhäviötä muutamia prosenttia kymmenyksiksi sekä aiheuttaisivat pientä tuotantokapasiteetin laskua, mutta toisaalta parantaisivat linjan kykyä kuoria puuta tehtaalla olevaan 0,5 %:n puhtausastetavoitteeseen. Muutosten vaikutukset puuhäviöön ja tuotantokapasiteettiin ovat tuskin niin merkittäviä, ettei niiden toimivuutta kannattaisi kokeilla muutamalla koeajolla.

## 8 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin UPM Kymmene Pietarsaaren kuorimon koivun kuorintalinjan ajo-parametreja. Työn tavoitteena oli optimoida tehtaan koivun kuorintaprosessia. Muutoksia haettiin kuorintarummun täyttöastetta pienentämällä. Tutkimusmateriaali koottiin maaliskuussa 2011 tehdyistä neljästä 16 h:n mittaisesta koeajosta. Koeajojen tuloksista ilmeni, että koivun kuoriminen matalalla, noin 20 %:n täyttöasteella UPM Kymmene Pietarsaaren kuorimon koivulinjalla on hyvin vaikeasti toteutettavissa. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui puun puhtausastetavoitteen saavuttaminen jatkoprosessin vaatimalla tuotantovauhdilla ajettaessa.

Puiden rumpukuorinta tehdasoloissa on ensisijaisesti optimointitehtävä puiden puhtauden ja puuhäviöiden välillä. Kuorinnan tavoitteena ei tule olla puun 100-prosenttinen pintapuhtaus, vaan puhtausastetavoite tulee valita jatkoprosessin vaatimusten mukaisesti. Merkittävimmin kuorintaprosessin tulokseen vaikuttavat ajoparametrit ovat rummun täyttöaste, rummun kierrosluku, rummun portin asento ja tuotantokapasiteetti. Myös puun syötön ja lastauksen sulatuskuljettimelle tulee olla mahdollisimman tasaista, jotta kuorintaprosessi ja sitä ohjaava automaatiojärjestelmä kykenisivät toimimaan optimaalisesti.

Käytetyt koeajomallit eivät antaneet lupaavia tuloksia, sillä kaikki tuotannolliset vaatimukset huomioon ottaen vanha ajomalli osoittautui näistä parhaaksi vaihtoehdoksi. Vanhan ajomallin ongelmana on ajoittain liian korkea puun kuoripitoisuus kuorinnan jälkeen. Ongelma olisi todennäköisesti korjattavissa pienillä muutoksilla vanhan reseptin rummun portin liikeratoihin sekä alentamalla täyttöasteen pysäytysrajaa, pitäen kuitenkin täyttöastetavoite ennallaan. Nämä muutokset luultavasti nostaisivat keskimääräistä puuhäviötä muutamia prosenttia kymmenyksiksi, jotka ovat linjalla kuitenkin verrattain alhaiset. Mahdolliset muutokset vaativat kuitenkin koeajoja niiden toimivuuden varmistamiseksi.

Koeajojen aikana oli havaittavissa suuria puun laadun vaihteluita. Puu oli välillä todella kuivaa sekä ajoittain ohutta riukua. Puun laadun vaihtelulla on merkittävä vaikutus puuhäviöihin, eikä sen jatkuvatoimiseen mittaukseen ole vielä käytössä

olevaa laitteistoa. Puun laaduntarkkailuun käytetään otantamenetelmää, joka on ainoastaan suuntaa-antava laadun mittari jokaiselle tehtaalle saapuvalla puuerällä.

## LÄHTEET

Gullichsen, J & Fogelholm, C-J. 1999. Papermaking Science and Technology. Book 6A, Chemical Pulping. Helsinki: Fapet Oy.

Hedenberg, Ö. 1990. Studies on efficiency during drum debarking, 24<sup>th</sup> EUCEPA Conference 1990. Stockholm, May 8–11.

Isokangas, A & Leiviskä, K. 2005. Optimisation of wood losses in log debarking drum. Paperi ja Puu No. 87 5/2005.

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. Helsinki: Edita Prima Oy.

Knowpulp 2009, tietokoneohjelmisto.

Knowpulp 2001–2002, tietokoneohjelmisto

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja sen ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Niiranen, M. 1983. Kuitupuun tehdaskäsittely. Lisensiaattityö. Teoksessa Puumassan valmistus. (toim.) Virkkola, N-E. Turku: Suomen Paperi-Insinöörien yhdistys.

Niiranen, M. & Tirri, T. 1993. Nykyaikaisen puumassan valmistus. University of Oulu.

Nieminen, A-K & Kallio, S & Lankia, H. 2005. Paperin kemiaa. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/massan\\_valmistus.htm](http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/massan_valmistus.htm). Luettu 10.11.2010.

PuuProffa. Pro Puu ry. 2004–2011. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/index.php>. Luettu 11.1.2011.

Seppälä, M, Klementti, U, Kortelainen, V-A, Lyytikäinen, J, Siitonen, H & Sironen, R. 2002. Kemiallinen metsäteollisuus 1: Paperimassan valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Teknosavo. 2010a, Käyttö- ja huolto-ohje, Woodsmart.

Teknosavo. 2010b, Käyttö- ja huolto-ohje, Barksmart.

Teknosavo. 2010c, Käyttö- ja huolto-ohje, ProfiSmart.

Teknosavo. 2011. Teknosavo Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.teknosavo.fi/>. Luettu 15.1.2011.

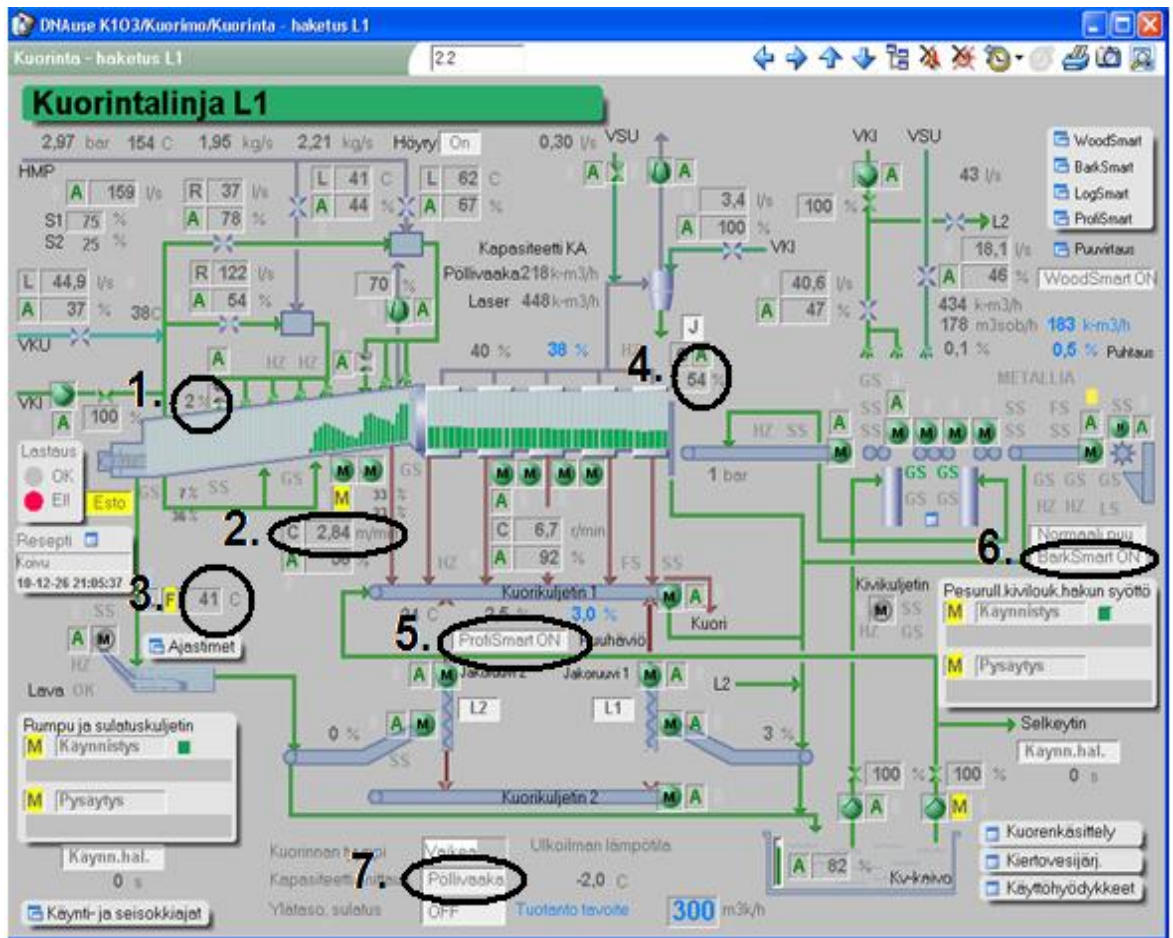
UPM Pietarsaari. 2010. Puunkäsittelyn toiminta.

UPM-KYMMENE. 2011. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://w3.upm-kymme-ne.com/upm/internet/cms/upmcmsfi.nsf/\\$all/A431FE02FFF85117C2256E670045D90E?Open&qm=menu,0,0,0](http://w3.upm-kymme-ne.com/upm/internet/cms/upmcmsfi.nsf/$all/A431FE02FFF85117C2256E670045D90E?Open&qm=menu,0,0,0). Luettu 15.1.2011.

Vacon. 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: [www.vacon.fi/Default.aspx?id=461920](http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461920). Luettu 15.12.2010.



## KOIVUN KUORINTALINJAN YLEISKAAVIO

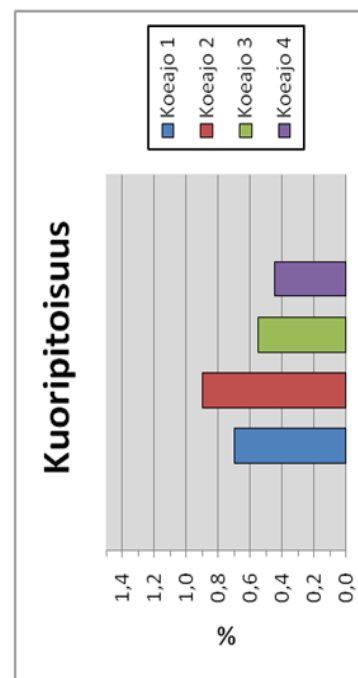
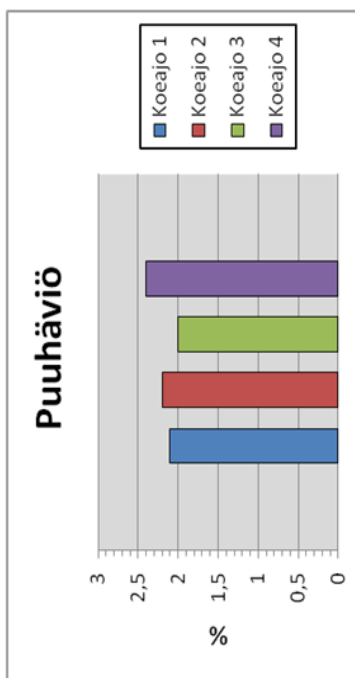
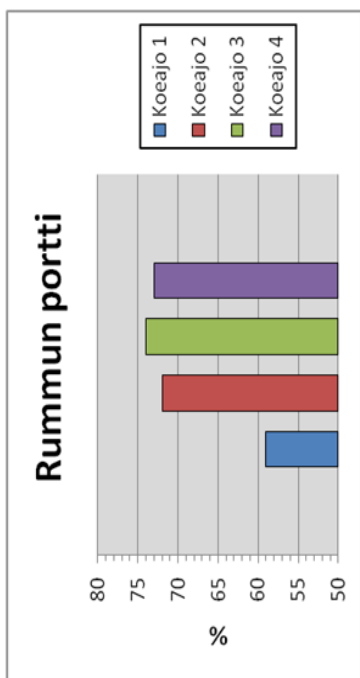
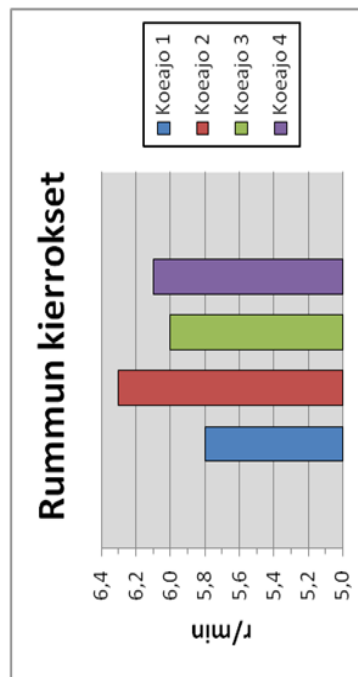
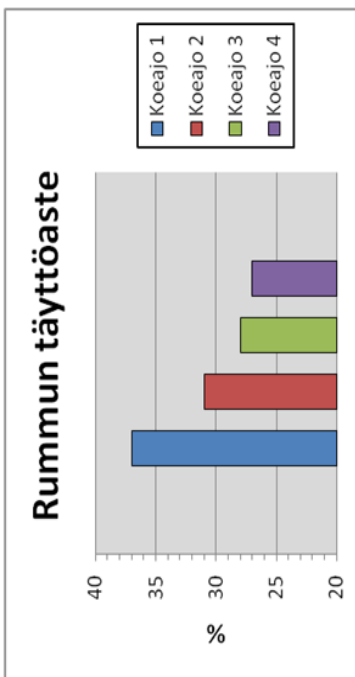
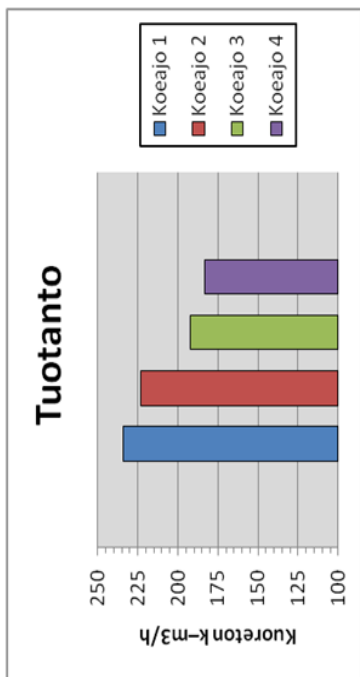


1. Sulatuskuljettimen täyttöasteen keskiarvo
2. Sulatuskuljettimen nopeuden arvo
3. Sulatusveden paluulämpötila
4. Rummun portin asento
5. ProfiSmart-mittarin käyttövalikko
6. BarkSmart-mittarin käyttövalikko
7. Käytössä oleva kapasiteetin mittaamenetelmä

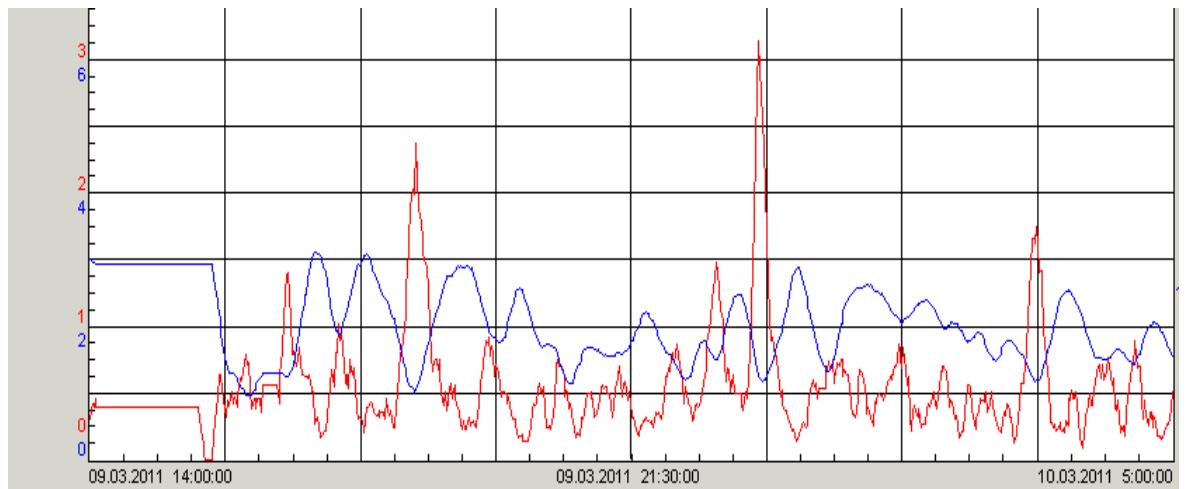
## ALKUPERÄINEN RESEPTI

L1 AJOSSA OLEVA RESEPTI	
Koivu	
SK - Nopeuden ohjearvo	2,4 m/min
SK - Miniminopeus	2,2 m/min
SK - Maksiminopeus	3,0 m/min
SK - Ohjausväli	80 s
Rumpu - Aikaviive	15 min
Rumpu-Kierrosnopeuden ohjearvo	5,3 rpm
Rumpu - Minimikierrosnopeus	3,7 rpm
Rumpu - Maksimikierrosnopeus	6,7 rpm
Portti - Asennon ohjearvo	56 %
Portti - Minimiasento	50 %
Portti - Maksimiasento	61 %
Täytösaste - Ohjearvo	38 %
Täytösaste - Toleranssi	2 %
Täytösaste - Pysäytysraja	55 %
Täytösaste - Käynnistysraja	37 %
Täytösaste - Optinen - Ohjearvo	38 %
Täytösaste - Optinen - Toleranssi	2 %
Täytösaste - Optinen - Pysäytysraja	55 %
Täytösaste - Optinen - Käynnistysraja	37 %
Kapasiteetti - Ohjearvo	225 m <sup>3</sup> /h
Kapasiteetti - Ohjausväli	240 s
Kapasiteetti - Keskiarvoaika	90 s
Kapasiteetti - Ylitysaika	120 s
Kapasiteetti - Portti - Muutos	4,0 %
Puhtausaste - Ohjearvo	0,5 %
Puhtausaste - Keskiarvoaika	70 s
Puhtausaste - Rumpu - Ohj.väli -Alas	120 s
Puhtausaste - Rumpu - Ohj.väli-Ylös	60 s
Puhtausaste - Rumpu - Muutos	0,2 rpm
Puhtausaste - Portti - Ohjausväli	150 s
Puhtausaste - Portti - Muutos	4,0 %
Puuhäviö - Ohjearvo	1,2 %
Puuhäviö - Keskiarvoaika	160 s
Puuhäviö - Rumpu - Ohj.väli (alas)	240 s
Puuhäviö - Rumpu - Muutos	0,2 rpm
Sulatus - Paluuvesi lämpöt. - Ohje	30,0 C
Sulatus - Kuoren lämpöt. - Ohjearvo	19,0 C
Puulaji - Kuorittavapuulaji (0, 1, 2, 3)	1

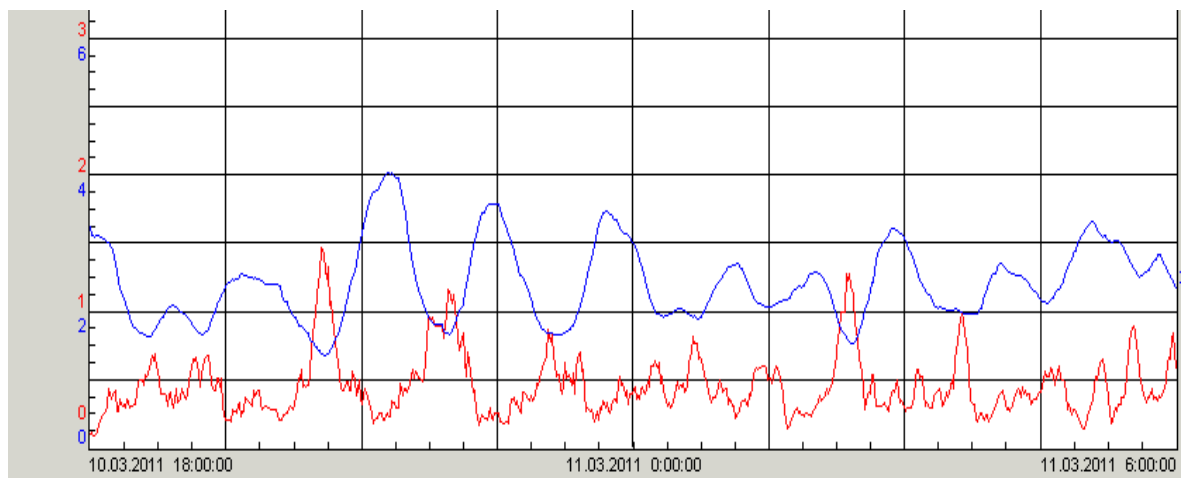
KOEAJOJEN TULOKSIA



PUUHÄVIÖ JA PUHTAUSASTE, KOEAJOT 3(yllä) JA 4



Name	Data Source	Map	Description	Value	Level	Status	Au	Plot Min	Plot Max	Units	Shift	Tz
511-XI-161.5	WIFREC1	IP_AnalogMap	L1 BARKSMART KESKIJARVO	0,507	Good	Good	0	0	5	%	0 0:00:C	FL
NT13-NOP:n	WIFREC1	IP_AnalogMap	RUMPU 1, KÄYTTÖMOOTTORI 1	****			0	0	10	r/min	0 0:00:C	FL
511-XI-190.5	WIFREC1	IP_AnalogMap	PROFISMART KESKIJARVO	1,561	Good	Good	0	0	10	%	0 0:00:C	FL



Name	Data Source	Map	Description	Value	Level	Status	Au	Plot Min	Plot Max	Units	Shift	Tz
511-XI-161.5	WIFREC1	IP_AnalogMap	L1 BARKSMART KESKIJARVO	0,587	Good	Good	0	0	5	%	0 0:00:C	FL
NT13-NOP:n	WIFREC1	IP_AnalogMap	RUMPU 1, KÄYTTÖMOOTTORI 1	****			0	0	10	r/min	0 0:00:C	FL
511-XI-190.5	WIFREC1	IP_AnalogMap	PROFISMART KESKIJARVO	2,352	Good	Good	0	0	10	%	0 0:00:C	FL

TÄYTTÖASTE JA PORTTI, KOEAJOT 3(yllä) JA 4

