

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Prosessitekniikan koulutusohjelma

Waltter Helenius

Kuoren energiasisällön säilyttäminen sellutehtaalla

Opinnäytetyö 2015

Tiivistelmä

Waltter Helenius

Kuoren energiasisällön säilyttäminen sellutehtaalla, 42 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Prosessitekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: yliopettaja Pasi Rajala, Saimaan ammattikorkeakoulu, Supply Chain Manager Petri Ojala, Stora Enso Oyj

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin kuoren energiasisällön säilymistä Stora Enson Sunilan tehtaalla ja vertailtiin kahta investointivaihtoehtoa, joilla energiasisällön säilyttämiseen voitaisiin vaikuttaa. Työssä tutkittiin kuoren kuiva-ainemittausten tulosten perusteella, kuinka paljon energiaa menee hukkaan nykyisellä ajomallilla. Dataa kerättiin kuorinäytteillä, joita otettiin kuoripuristimilta sekä hihnakuljettimelta ennen polttoaineen syöttämistä kuorikattilaan.

Työn teoreettisessa osuudessa perehdyttiin puun kuoren kemiaan, kuoren laatuominaisuuksiin polttoaineena, lämpöarvoon, näytteenottoon sekä kuorimon toimintoihin. Työssä esiteltiin kahden investointivaihtoehdon toimintakuvaukset sekä puntaroitiin niiden etuja ja haasteita.

Työn lopputuloksena voidaan todeta, että kuoren kuiva-ainepitoisuuden lisääminen ei ole tarpeeksi tuottavaa, jotta sen avulla saataisiin katettua suunniteltu ja kuorenkuljetuslinjan muutoksen investointikustannuksia määräajassa.

Asiasanat: kuori, kuiva-aine, energiasisältö, näytteenotto, voimalaitos

Abstract

Waltter Helenius

Retaining the Energy Content of Bark, 42 Pages, 3 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Process Engineering

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Dr Pasi Rajala, Principle Lecturer Saimaa UAS, Mr Petri Ojala,

Supply Chain Manager, Stora Enso Oyj

The objective of the study was to determine how much of energy loss happens with the current bark conveyance equipment. Due to the new lignin extraction plant the usage of bark will be increased. The moisture data for this thesis was collected from the bark samples taken from the conveyor following the bark press and before the steam boiler.

The chemistry of the bark, fuel quality requirements, sampling, heat value and wood handling were familiarized in the beginning of the study. The second objective of the study was to investigate two investment alternatives and to compare them to the current fuel feeding model. The results of the study show that bark that is fed in the boiler is not that valuable it could pay the possible investment in reasonable time.

Keywords: bark, moisture, samples, heat value

Sisälllys

1	Johdanto.....	6
2	Yrityksen esittely	7
2.1	Stora Enso Oyj.....	7
2.2	Sunilan tehdas	7
2.3	Prosessi	8
2.4	Puunkäsittelyosasto	9
3	Kuorimon toiminnot	10
3.1	Vastaanotto ja sulatus.....	10
3.2	Kuorinta	11
3.3	Puuhäviö ja puhtausaste.....	13
3.4	Haketus.....	14
3.5	Kuorenkäsittely	14
3.6	Vedenkäyttö	17
4	Kuori.....	17
4.1	Kuoren rakenne	17
4.2	Kuoren kemialliset ominaisuudet	18
4.3	Kuori polttoaineena	18
5	Polttoaineen laatuominaisuudet	19
5.1	Yleistä	19
5.2	Kosteus.....	19
5.3	Lämpöarvo.....	20
5.3.1	Kalorimetrinen lämpöarvo	20
5.3.2	Tehollinen eli alempi lämpöarvo	21
5.3.3	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa.....	22
5.3.4	Energiatiheys	22
5.3.5	Toimitettu energiamäärä	23
6	Sunilan tehtaan Kuorikattila 2.....	23
7	Näytteenotto	24
7.1	Näytteen ottaminen.....	24
7.2	Kuiva-ainemittausten tulokset	27
7.3	Kuiva-ainepitoisuuden parantaminen.....	28
8	Tekniset ratkaisut	29
8.1	Lähtötilanne	29
8.2	Vaihtoehto 1.....	31
8.3	Vaihtoehto 2.....	33
9	Kannattavuus	35
9.1	Säästöjen kartoittaminen	35
9.2	Investoinnin kustannukset.....	36
10	Yhteenveto.....	37
10.1	Pohdinta.....	37
10.2	Jatkotutkimuskohteet	38
	Kuvat.....	40
	Kaaviot.....	40
	Taulukot.....	40
	Lähteet.....	41

Liitteet

- Liite 1 Kuoren kuiva-aine KK2
- Liite 2 Kuoren kuiva-aine kuoripuristin 1
- Liite 3 Kuoren kuiva-aine kuoripuristin 2

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee kuoren energiasisällön säilyttämistä Stora Enson Sunilan tehtaalla Kotkassa. Sunilan sellutehtaan voimalaitos käyttää polttoaineenaan tehtaan pääraaka-aineestaan peräisin olevaa havupuun kuorta. Tehtaan kuorenpolton tarve lisääntyy tulevaisuudessa ligniinin talteenottolinjan käyttöönoton myötä.

Sunilan tehtaan puunkäsittelyosastolle on suunnitteilla investoida kuoren varastointiin ja sen siirtämiseen voimalaitokselle. Tässä opinnäytetyössä tehdään selvitys kahdesta erilaisesta ratkaisusta kuoren energiasisällön säilyttämiseksi vertailukohdaksi nykyiselle ja arvioidaan näiden etuja ja kannattavuutta. Työn taustalla vaikuttaa myös halu selvittää, mikä on kuoren energiasisällön säilyvyyden merkitys taloudellisesti. Polttoaineeksi ulos myytäessä kuoren hinnan määrittää sen lämpöarvo, mihin vaikuttaa kuoren sisältämä kosteus. Kuiva-ainepitoisuus määritetään kokeellisin menetelmin laboratorioon toimitetuista kuorinäytteistä.

Työn alussa esitellään Stora Enso Oyj ja Sunilan tehdas. Työssä perehdytään Sunilan puunkäsittelyosaston toimintoihin, mm. kuorintaan, kuorenkäsittelyyn ja -varastointiin, sekä tutustutaan kuoren ominaisuuksiin polttoaineena. Työssä käydään myös läpi kahden tilatun investointisuunnitelman etuja ja haittoja sekä arvioidaan mahdollisen investoinnin kustannuksia ja niiden takaisinmaksua.

2 Yrityksen esittely

2.1 Stora Enso Oyj

Stora Enso on maailmanlaajuinen paperi-, biomateriaali-, puutuote- ja pakkaus-teollisuuden edelläkävijä. Konsernin palveluksessa työskentelee noin 28 000 henkilöä yli 35 maassa. Stora Enson vuosittainen tuotantokapasiteetti on 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia, 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, josta 2,9 miljoonaa jatkojalosteita. Stora Enson liikevaihto oli vuonna 2013 10,5 miljardia euroa ja operatiivinen liikevoitto 578 miljoonaa euroa. Suomessa sijaitsevilla yksiköillä työskentelee noin 25% henkilöstöstä eli noin 6950 työntekijää. Stora Enson pääkonttori sijaitsee Helsingissä. (Stora Enso Oyj 2014a.)

2.2 Sunilan tehdas

Sunilan sulfaattisellutehdas sijaitsee Kotkassa, Sunilan kaupunginosassa Kymi-joen suulla. Sunila Oy perustettiin vuonna 1938 viiden metsäteollisuusyrityksen yhteisyrityksenä ja se siirtyi kokonaan Stora Enso Oyj:n omistukseen vuonna 2009. Tehdas tuottaa valkaistua havupuusellua, niin sanottua armeeraussellua, jota käytetään päällystettyyn painopaperiin, SC-paperiin ja sanomalehtipaperiin. Prosessin yhteydessä syntyy sivutuotteena mäntyöljyä ja tärpättiä. Valmistettava sellu valkaistaan klooridioksidin avulla. Tehtaan vuosikapasiteetti on 380 000 tonnia ilmakuivattua sellua. Raaka-aineena käytetään mäntyä ja kuusta. Tehtaanjohtajana toimii tällä hetkellä Olli-Pekka Reunanen. Tehdas on kokenut uudistuksia useampaan otteeseen ja niistä suurimmat tehtiin 1990 -luvulla. Soodakattila 11 käynnistettiin vuonna 1988 ja happivalkaisu seuraavana vuonna. Uudistetun yksilinjaisen kuorimolinjan se sai käyttöön vuonna 1992 ja oli käynnistyessään maailman suurin. 1995 kuorikattila muutettiin leijupetikattilaksi. Samana vuonna valmistuivat biologinen puhdistamo ja pesemö. Valkaisu käynnistyi 1998 ja vuotta myöhemmin keittoprosessista tehtiin jatkuvatoiminen. Laadunvalvonnan tehostamiseksi rakennettiin neljä hakesiiloa vuonna 2002, jolloin hakkeen syöttöä pystyttiin säätelemään halutulla määrällä kustakin siilosta. Kuvassa 1 Sunilan tehdas. (Aluehallintavirasto 2010.)



Kuva 1. Stora Enso Sunilan tehdas (Stora Enso Oyj 2015)

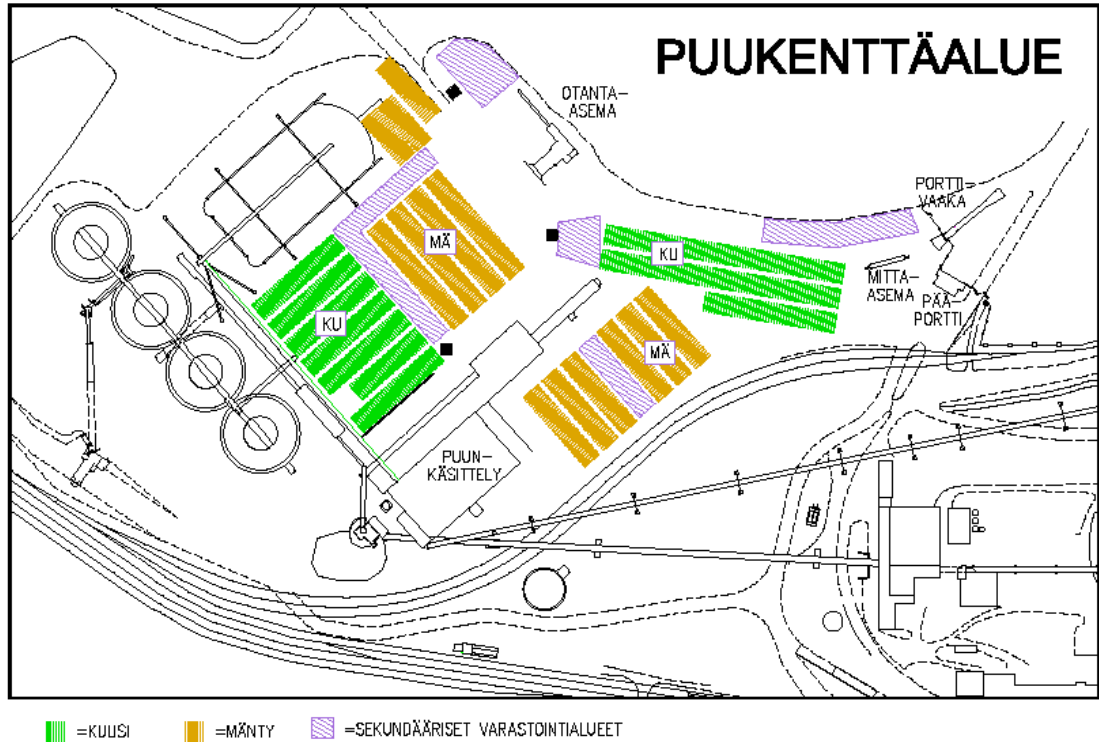
2.3 Prosessi

Tehdas käyttää raaka-ainetta vuosittain noin 2,1 miljoonaa kuutiometriä, josta noin 15 - 20 % on lähialueilta tuotavaa sahaketta ja loppuosa pyöreää havukuitupuuta, josta noin 65 % on kotimaista ja 35 % tuontipuuta. Pöllihakkeet, sekä mänty- ja kuusisahakkeet varastoidaan yhdelle aumakasalle ja neljään siiloon. Kuorimolla havupuut kuoritaan ja haketetaan hakkeeksi. Kuorinnasta syntyvä kuori joko poltetaan kuorikattilassa tai myydään biopolttoaineeksi. Kuorikattila KK2 otettiin käyttöön 1973 ja on polttoaineteholtaan 82 MW, tuottaen sähköä 31 GWh/a ja prosessihöyryä 170 GWh/a käyttäen polttoaineena kuoren ohella biolietettä ja maakaasua. Hake keitetään keittämöllä jatkuvatoimisessa keittimessä 150 °C lämpötilassa alkalisessa keittoliemessä, jossa hakkeesta erotetaan ligniini valkolipeällä. Osa hemiselluloosasta liukenee keiton aikana. Tämä pyritään minimoimaan jotta saanto ei huononisi. Puskussa keitetty hake hajoaa lopulta selluloosakuiduiksi. Tämän jälkeen sellu pestään ja keittokemikaalit otetaan talteen ja kierrätetään takaisin käyttöön. Lajitteluvaiheessa sellusta poistetaan roskat ja oksat. Happivalkaisu on vaihe, jossa ligniinin poistoa jatketaan hapen ja kuumen alkaliuuton avulla. Ennen valkaisuuta massa pestään

vielä kertaalleen. Sunilan tehtaassa valkaisu prosessi on nelivaiheinen. Valkaisukemikaaleina toimivat vuorotellen klooridioksidia happamissa ja peroksidia alkalisissa oloissa. Liunneen aineen ja jäännösten poistamiseksi massa pestään valkaisu vaiheiden välillä. Kuivaamolla on käytössä kaksi kuivatuskonetta KK4 ja KK6. Kuivattu massaraina leikataan, paalataan, sidotaan ja leimataan. Kuivauskoneet käyttävät yhteistä sidontalinjaa, jossa valmiit sellupaalit pakataan asiakkaiden toiveiden mukaisesti käärepapererein ja langoiin. (Aluehallintavirasto 2010.)

2.4 Puunkäsittelyosasto

Tehtaassa puutoimituksista vastaa Stora Enso Metsä. Puuhuoltosuunnitelmaa ylläpitää asiakaspalvelupäällikkö, joka sopii toimitukset tehtaassa tuotantosuunnitelman pohjalta. Pyöreää puuta toimitetaan tehtaalle vuosittain 2,1 miljoonaa m³, josta 30% laivalla, 30% junalla ja 40% autolla. Kuorimo on yksilinjainen ja sen päälaitteet ovat Andritz Oy:n valmistamat, vuodelta 1991. Kuorimolla käsitellään vain havupuuta, kuusien ja mäntyjen kuorinta ja haketus tapahtuu erikseen omissa erissä. Kuorimon tuotantokapasiteetti on 400 kiintokuutiota haketta tunnissa, käytännössä haketta valmistetaan 6000-7000 m³/vrk. Kuorimon käyttökäyttöhenkilöstö muodostuu kymmenestä vuorotyöntekijästä, sekä kahdesta päivätyöntekijästä. Kuorinta toteutetaan kolmessa vuorossa vuorokauden ympäri viikon jokaisena päivänä. RP Group vuokraa puunkäsittelyosaston tarpeisiin vastaavat työkonet. Käytössä on kolme kappaletta riippupihtikurottajia, kolme pyörökuormaajaa, sekä traktori. Puukentän (kuva 2) toiminnoista, sekä puun vastaanottomittauksesta vastaa Stora Enso Metsän vuorotyöntekijät. Heidän tehtäviinsä kuuluu puun syötön ja varastoinnin lisäksi tehtaassa jätejakeiden kuljetukset, sivutuotteiden, kuten purun ja kuoren kuormaus, sekä tehdasalueen koneellinen kunnossapito. (Stora Enso Oyj 2014b.)



Kuva 2. Puukenttäalue (Stora Enso Oyj 2014b)

3 Kuorimon toiminnot

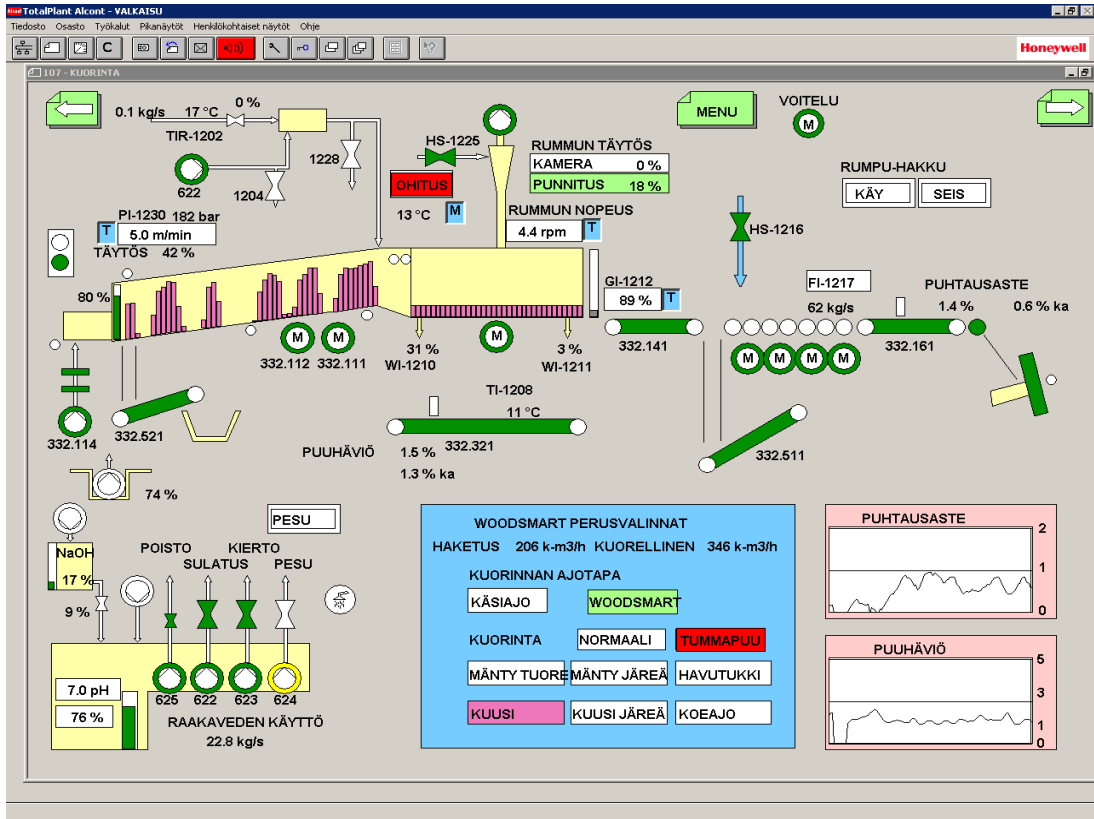
3.1 Vastaanotto ja sulatus

Sulatuskuljetin, jolle kurottaja syöttää kuorittavat puut, koostuu kymmenen ketjun matosta ja Marathon MA/MB 800 -hydraulimoottoreista. Sulatuskuljettimen nopeus on säädettävissä välillä 1 - 5,4 m/min. Kuljettimen pituus on 74 metriä, josta lastausosa käsittää 18 metriä. Kuljettimen nousukulma on 17°. Puut pestään kuumalla vedellä epäpuhtauksien, kuten hiekan ja kivien poistamiseksi, jotteivät ne häiritse haketuksessa. Kivet ja hiekka aiheuttavat hakun terien tylsymistä ja sen myötä hakkeen laadun heikkenemistä. Sulatusvettä käytetään myös kuoren irtoamisen helpottamiseksi ja talvisin jäätymisongelmien välttämiseksi. Käytettävä sulatusvesi on joko suora höyrylämmiteinen noin 45 °C koko matkalle tai tehdään kuumavesiakulta tuotu kuumavesi. Kesällä puut eivät ole lumen ja jään peitossa, joten pintakerrosta ei tarvitse sulattaa höyryllä, vaan puut pestään pelkällä vedellä. Puut nostetaan nippuina maasta tai suoraan kuljetuksesta junan vaunuista tai autoista sulatuskuljettimen lastausosalle, josta niput kulkevat yläviistoon pudoten suoraan kuorimarumpuun. Hydraulimoottori-

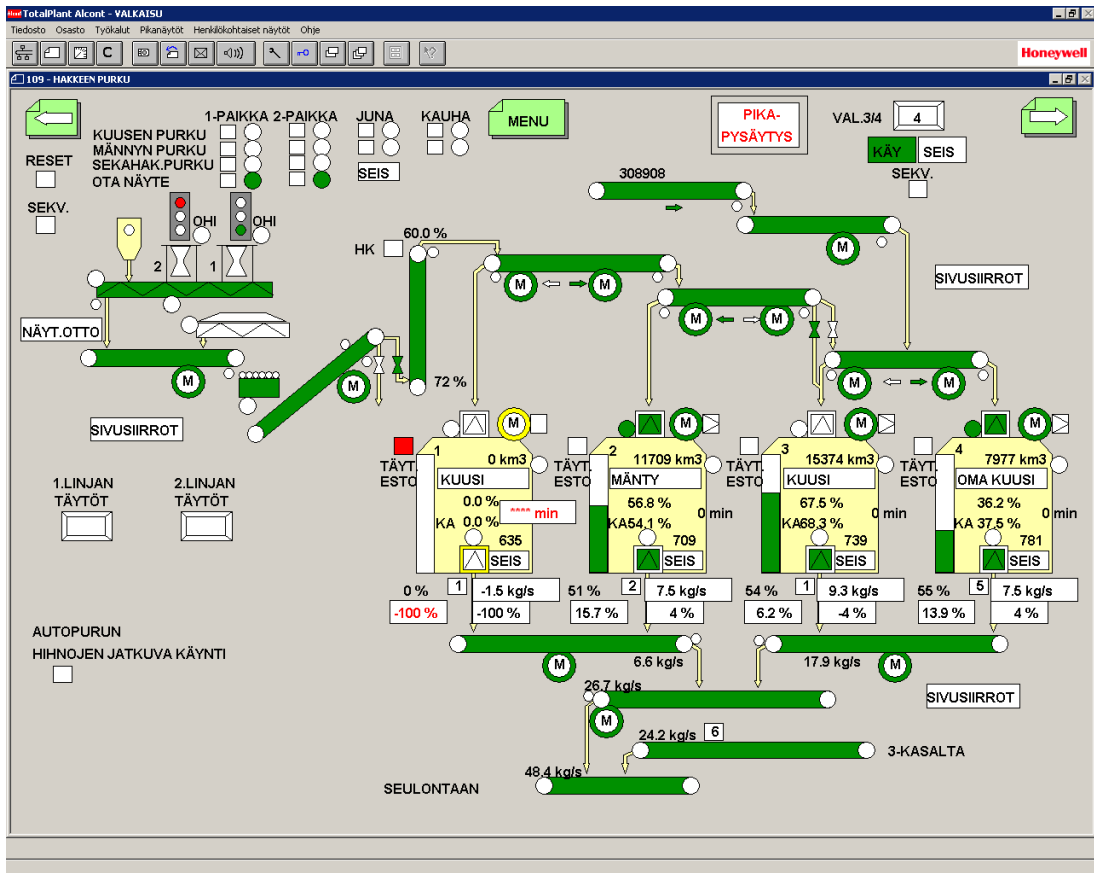
en avulla kuljettimen nopeutta voidaan muuttaa nopeasti valvomosta käsin. (Stora Enso 2014b; Seppälä ym. 2002, 19-23.)

3.2 Kuorinta

Kuorimarumpu on yksinkertaisuudessaan päistä avonainen teräslieriö, minkä vaippaan on leikattu aukkoja, joista irtonainen kuori poistuu. Kuoriaukot ovat tyypillisesti leveydeltään 40 - 42 mm. Rummun sisäpinnalle on hitsattu kuorimarautoja, joiden avulla rummun pyöriessä puut nousevat seinämille ja putoavat alas samalla hangaten toisiaan ja irrottaen kuoren. Puun viipymäaika rummussa vaikuttaa puhtausasteeseen. Mitä enemmän puut hankautuvat toisiinsa, sen tehokkaampaa kuoriutuminen on. Hankautumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat rummun läpimitta, kierrosluku ja täyttöaste. Sellupuulle parhaana täyttöasteena pidetään 25 - 35 %. Kuoriutumistasetta voidaan säätää rummun kierroslukua muuttamalla. Portaaton kierrosluvun säätö mahdollistaa kuorinnan optimoinnin puulajin ja laadun mukaisesti. Tuotantoon ja kuorinta-asteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat rummun pyörimisnopeus, portin asento, täyttöaste ja läpimenoaika. Pyörimisnopeus tulee rajata alueelle, jossa puut kuoriutuvat liikkumalla tasaisesti, sinkoilematta holtittomasti jotta puut eivät katkeilisi rummussa. Sunilan kuorimarumpu on 35 metriä pitkä ja halkaisijaltaan 6 m. Rumpu pyörii 3 - 7 kierrosta minuutissa ja toimii teräspyöräkannatuksen avulla kahdeksalla 160 kW moottorilla. Rumpuun voidaan syöttää maksimissaan 6 metrin pituisia puita. Rummun täyttöastetta mitataan venymäluisien tai kameran avulla. Kuoritut puut purkautuvat hihnakuljettimelle. Rummun purkauskuljetin siirtää puut pesurullastolle kivi- ja pätkäloukkujen ylitse. Loukut ovat erottelemassa pois kivet ja hiekan ennen hakkua. Pätkäloukku erottelee nimensä mukaisesti liian lyhyet puut puuvirrasta. Pesurullaston jälkeen puut ohittavat metallinilmaisimen, jonka jälkeen siirtyvät hakkua edeltävälle hihnakuljettimelle, jossa mahdolliset metallit poistetaan linjalta käyttöhenkilöstön toimesta. Puiden mukana kulkeutuu usein piikkilankaa, sidontalankoja ja nauvoja, joiden poistaminen on tärkeää hakun kunnon ja lopputuotteen puhtauden kannalta. Kuvissa 3 ja 4 on esillä kuorinnan ja hakkeenpurun ohjausnäytöt. Kuvassa 5 kuorimarumpu ja pesurullasto. (Saastasti 2013; Seppälä ym. 2002, 25-27; Sepsilva Ltd Oy 1997.)



Kuva 3. Kuorinta



Kuva 4. Hakkeen purku



Kuva 5. Rummun purkauspää

3.3 Puuhäviö ja puhtausaste

Sunilassa käytetään optisia reaaliaikaisia mittalaitteita puun kuoripitoisuuden ja kuoren puupitoisuuden mittaamiseen. Teknosavo Oy:n BarkSmart mittaa rummu-hakkulinjalla värikameralla suoraan kuljettimelta puuvirrasta puussa olevan kuoren osuutta puun pintaan nähden, jotta tiedetään kuinka hyvin puu on kuoriutunut rummussa. Oikea puhtausaste minimoi puuhäviön ja maksimoi kuorikapasiteetin, sekä pystytään välttämään keittovaiheessa kemikaalien turha kulutus. Mittaustieto lähettyy kuorimon valvomoon, jotta käyttöhenkilökunta pystyy optimoimaan kuorinnan haluttuun puhtausasteeseen. Laitteisto koostuu kamerakaapista ja analysointiohjelman sisältävästä PC-kaapista. PC-yksikkö analysoi kerätyn datan. ProfiSmart kerää tietoa kuorinnassa tapahtuvasta puuhäviöstä, eli se mittaa kuorikuljettimella kulkevan puun määrää kuoren seassa. Pro-

fiSmart koostuu niin ikään kuorikuljettimella sijaitsevasta kamerakaapista ja erillisestä PC -kaapista. Puuhäviön minimoinnilla saadaan aikaan merkittäviä säästöjä vuositasolla. Sekä ProfiSmartin, että BarkSmartin tuottama data on kytkettynä Teknosavon WoodSmart -optimointijärjestelmään, mikä laskee mittausten perusteella optimiarvoja sulatuskuljettimen nopeudelle, rummun kierrosnopeudelle, sekä rummun portin asennolle. (Teknosavo 2014a, 2014b, 2014c, 2014d.)

3.4 Haketus

Kuorimolla on käytössä Andritz Oy:n HQ900 -hakku, joka käyttää 16:ta Andritzin toimittamaa kääntöterää. Terien vaihtoon käytetään apuna siihen soveltuvaa teränvaihtorobottia. Terien vaihto suoritetaan 10 000m³ haketuksen välein. Terien vaihtoon kuluu aikaa 30 - 45 minuuttia. Hakkuun voidaan syöttää korkeintaan läpimitaltaan 700 mm puita. Haketuksessa syntyvä hake on pituudeltaan 28 - 30 mm. Hakkeet varastoidaan siloihin ja avokasalle. Sunilassa on neljä 18000 k-m³ kokoista hakesiiloa, joihin varastoidaan kuusi- ja mäntysahahakkeet, sekä kuorimolla haketettu kuusipöllihake. Siilojen pohjalla on 20 metrin pituinen molemmista päistä tuettu, kääntyvä purkainruuvi. Hake syötetään omalta hakulta joko siiloon 3 tai 4. Puukentän autopurkupaikalta tai pyörökuormaajalla operoitavalta kauhataskulta voidaan syöttää haketta kaikkiin siloihin. Autopurkupaikan kautta pystytään vastaanottamaan auto- tai laivahaketta 1000 i-m³/h. Avonaiselle aumakasalle varastoidaan mäntypöllihaketta enimmillään 30000 k-m³. Kasan alla sijaitsevat kaksi molemmista päistä tuettua 18 -metristä purkainruuvia, joiden liikkuma-ala käsittää 81 metriä. Aumakasan rajaavat molemmista kyljistä betonireunukset. (Stora Enso Oyj 2014b.)

3.5 Kuorenkäsittely

Rummussa irtoava puun kuori putoaa rummun kuoriaukoista ja ajetaan hihnakuljettimella kuorenkäsittelyyn, jossa Saalasti Oy:n valmistama kuorenmurskain Saalasti Crush repii kuoritun kuoren pienemmäksi jakeeksi. Hienonnettua kuorta on helpompi käsitellä, se ei tuki kuljettimia, vesi poistuu puristettaessa nopeammin, syöttö kuorikattilalle helpottuu ja kuoren palamispinta-ala on suurempi. Murskassa on vaihdettavat terät ja vastaterät. Vaihtoväliin vaikuttaa läpi kulke-

neen jakeen rakenne, esimerkiksi suuremmat puun kappaleet, kivet, hiekka ja metalli kuluttavat teriä. Sunilan tehtaalla käytössä oleva Saalasti Crush käy 315 kW moottorilla. Murskassa on käytännössä vain yksi liikkuva osa, usean tonnin painoinen roottori, mikä murskaa hihnalta syötetyn kuoren 12 murskaushampaalla 950 1/min pyörimisnopeudella vastateriä ja arinaa vasten. Riittävän pieneksi murskattu kuori poistuu arinan aukoista ja suurempi materiaali kiertää takaisin revittäväksi. (Saalasti 2013; Seppälä ym. 2002, 28-29.)

Revitystä kuoresta puristetaan vesi pois Saalastin Bark Master -kuoripuristimia apuna käyttäen (kuva 6). Sunilan tehtaalla on käytössä kaksi puristinta, joista uudempi otettiin käyttöön syksyllä 2013. Aiemmin puolet kuoresta ajettiin suoraan puukentällä sijaitsevalle kuorikasalle, nykyään kaikki tuotettu kuori puristetaan (Saalasti 2013).

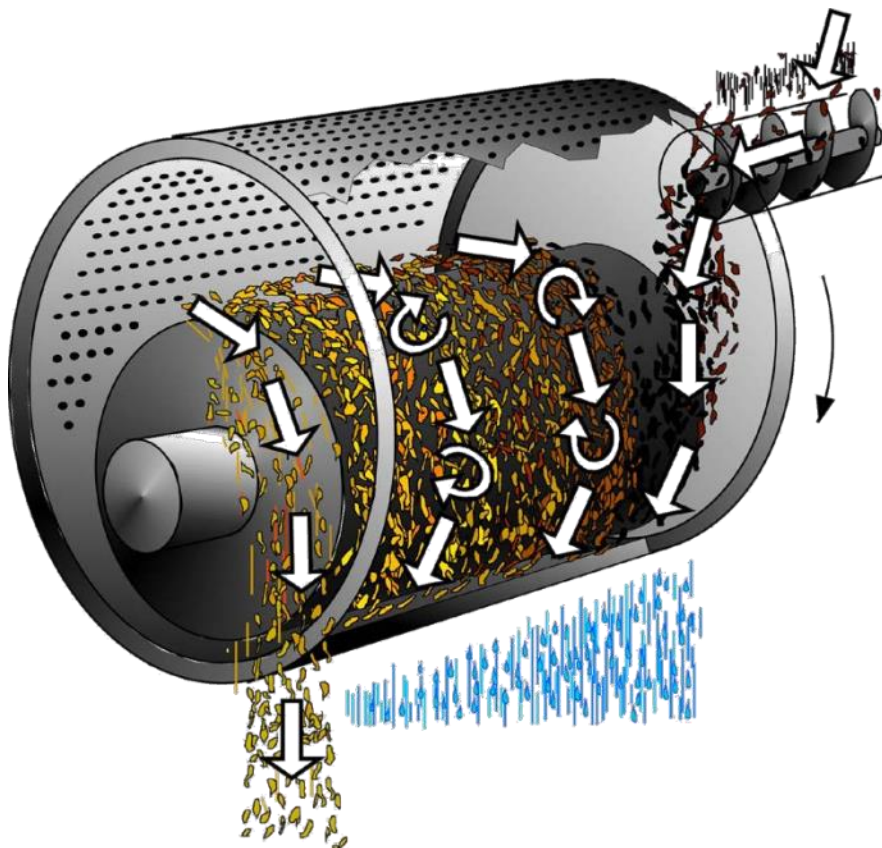


Kuva 6. Kuoripuristin

Kuoren puristamisen tarkoituksena on parantaa kuoren hyötylämpöarvoa, mikä on olennaisesti riippuvainen kuoren sisältämän veden määrästä. Puristamattoman kuoren kuiva-ainepitoisuus vaihtelee sen mukaan, mikä puulaji on kyseessä ja mitä kuorintamenetelmää käytetään. Havupuulla se on n. 20 %. Puristetun kuoren kuiva-ainepitoisuus on 41 - 45 %. Talvisin pitoisuus laskee alle 40 %. Kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttavat mm. kuoren mukaan sekoittuneet oksat ja puusäleät parantavat vedenpoistoa, kun taas kuoren hienoaines huonontaa sitä. Limaisesta kuusen kuoresta vesi poistuu heikosti. Puristuksen tehokkuuteen

vaikuttaa puristusaika, jotta vesi ehtii virrata puristimessa pyörivästä kuorikakusta pois. Mitä paksumpi kakku, sen kauemmin vedellä kestää virrata kakun läpi. Puristuspaineen kasvulla on tiettyyn pisteeseen asti vaikutus vedenpoiston parantamiseen. (Seppälä ym. 2002, 28.)

Kuori ja liete puristetaan rei'itetyn rumpun ja sen sisällä pyörivän puristustelan välissä useampaan kertaan kuvan 7 osoittamalla tavalla. Rumpuun syötetty kuori etenee puristustelaa pitkin spiraalia rataa sekoittuen puristusten välillä. Puristustela pyörittää rumpua kuorimaton välityksellä. Märkä kuori syötetään rumpun ja telan väliseen tilaan ruuvisyöttimellä. 160 tonnin kokonaispuristusvoima saadaan aikaan kahdella hydraulisynterillä, jotka laakeroitujen puristusvarsien avulla painavat telaa vasten kuorta ja rumpua. Kuori puristuu 3 - 6 kertaa ja kuivattu kuori tulee rumpun poistopäädstä vapaasti ulos pudoten kuorikuljettimelle, mikä kuljettaa kuivatun kuoren kuorikasalle. (Saalasti 2013; Seppälä ym. 2002, 28-29.)



Kuva 7. Kuoripuristimen toimintaperiaate (Saalasti 2013)

3.6 Vedenkäyttö

Kuorimolla käytetään vettä puiden sulatukseen sulatuskuljettimella, pesurullas-
tolla kuorinnan jälkeiseen puiden pesuun, sekä kuoren keräämiseen ja kivi-
loukussa. Kuoresta liukenee uuteaineita enemmän kuin puuaineksesta. Fosforia
ja typpeä on kuoressa 5 - 10 kertaa enemmän kuin puussa. Liettynyttä kuorta
on hankalaa erottaa kiertovedestä suodattamalla tai laskeuttamalla. Kuoriveden
mukana kulkeutuvaa hiekkaa erotellaan hiekkakuljettimella kiertoveden keräi-
lyaltaan pohjalta. Hiekka ajetaan keräilybasketeissa välivarastoon. Erotettu
hiekkä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi maisemointiin. Hiekanerotuksen
jälkeen osa kiertovedestä palautuu kuorintaan ja puhdistettavaksi selkeyttimelle.
Selkeytin on laakea allas, jonka keskelle kuorivesi johdetaan. Raskaat jakeet
painuvat säiliön pohjalle ja selkeytynyt ylite palautuu kuorimoon. Raskaat jakeet
pumpataan lietteenkäsittelylaitteistolle. Puun kuori laskee kiertoveden pH:n alle
5:n. Kiertoveden pH säädetään NaOH:lla 6 - 8 välille korroosion välttämiseksi.
Vesikiertoa ei voida sulkea kiintoaineksen ja epäpuhtauksien rikastumisen ja
sitä myöten vesikierron tukkeutumisen, sekä bakteerien ja hajuhaittojen takia.
Suljettu vesikierto ei myöskään ole mahdollista, koska talvisin tarvitaan lämmin-
tä vettä puiden sulatukseen. (Seppälä ym. 2002, 30.)

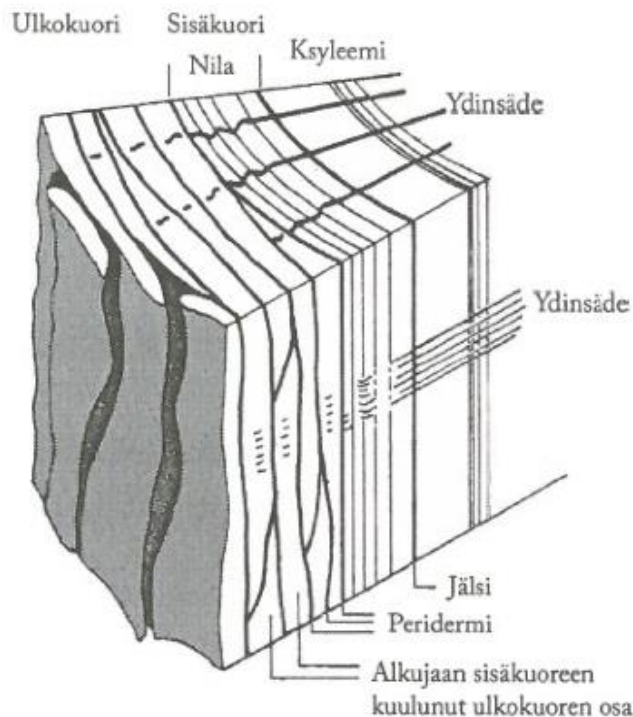
4 Kuori

4.1 Kuoren rakenne

Puun kuori koostuu kahdesta osasta, nilasta eli sisäkuoresta, sekä ulkokuores-
ta. Puun ja kuoren erottaa toisistaan jälsi. Jälsi tuottaa puuainesta sisäpuolel-
leen ja nilaa ulkopuolelleen. Ulkokuorta kutsutaan kaarnaksi tai tuoheksi. 10 -
20% runkopuusta on kuorta, mutta pienissä oksissa kuoren osuus voi olla 60%.
Nuoressa puussa kuorena toimii epidermi, jonka alle muodostuu jakautumisky-
kyinen korkkijälsikerros, mikä alkaa tuottaa kuorisolukoita. Kuoren tehtävänä on
suojata puuta ulkoisilta vaurioilta, lämpötilavaihteluilta, kuivumiselta, sekä kuljet-
taa ravinteita juurista latvustoon. Nilan tehtävä kuljettaa puulle elintärkeitä yh-
teytämistuotteita lehdistä runkoon ja juuriin. Nila koostuu kolmesta eri solukos-
ta, tylppy-, siivilä-, ja sklerenkyymisolukoista. (Alakangas 2000.)

4.2 Kuoren kemialliset ominaisuudet

Kuori koostuu samoista aineksista, kuin puuaines. Selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä kuoressa on vähemmän kuin runkokuoressa, mutta sisältää runsaasti uuteaineita ja epäorgaanisia aineita. Kuoressa on myös pieniä määriä suberiinia, polyfenoleita, pektiiniä ja tärkkelystä. Kuoren kuiva-aineesta 30 - 40 % muodostuu uuteaineista, mitkä sijaitsevat kuoren korkki- ja tylppysolukoissa. Kuorta käytetään energiantuotannon ohella lääketeollisuudessa, esimerkiksi pajun kuoresta saatavasta salisiinistä valmistetaan salisyylihappoa, jota on aspiriinissa. Marjakuusen kaarnasta saadaan pieniä määriä taksolia, millä on todettu olevan syöpäkasvaimia estäviä vaikutuksia. Kuoren rakenne esiteltä kuvassa 8. (Alakangas 2000; Rämö 2012.)



Kuva 8. Kuoren rakenne (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 108)

4.3 Kuori polttoaineena

Kuoren sisältämän ligniinin ansiosta sillä on korkea lämpöarvo. Lämpöarvo pysyy rungon eri korkeuksilla lähes samana, mutta eri puulajeilla lämpöarvoissa on huomattavia vaihteluja. Lämpöarvo vaihtelee myös puun koon ja kasvualueen mukaan. Lehtipuiden lämpöarvot ovat huomattavasti korkeampia havupuihin nähden, poikkeuksena haapa, minkä lämpöarvo on mäntyä alhaisempi, kui-

tenkin kuusen kanssa samassa luokassa. Lehtipuilla ulkokuoren lämpöarvot ovat luokkaa 20 - 32 MJ/kg ja sisäkuoren 19 - 20 MJ/kg. Rungon kuoressa tehollinen lämpöarvo on oksien kuorta suurempi. Ensiharvennumännyn kuoren kuiva-aineen lämpöarvo on 1,2 MWh/m³ tuoreena ja 1,3 MWh/m³ 40 % kosteudessa tuoreena, johtuen alhaisesta kuiva-tuoretiheydestä. Kuoren polttoainet ominaisuudet heikentyvät kosteus- ja tuhkapitoisuuden kasvaessa. Kuorta käytetään polttoaineeksi etenkin metsäteollisuuslaitosten ja lämpökeskusten kattiloissa. Metsäteollisuudessa sivutuotteena syntyvä kuori on suurimmaksi (n. 6,5 miljoonaa m³) osaksi havupuun kuorta. Kuoren käsittelyssä haasteita tuottavat kuoren epähomogeenisuus. Kuori aiheuttaa ongelmia lisäksi polttoaineseoksissa käsittely- ja syöttölaitteissa. Kuoren käyttöä polttoaineena voidaan parantaa sekoittamalla kutteripurua kuoren sekaan. Tällöin molempien polttoaineiden käyttökelpoisuus ja arvo paranevat. (Rämö 2012.)

5 Polttoaineen laatuominaisuudet

5.1 Yleistä

Polttoaineista maksetaan sen energiasisällön perusteella. Energiasisällön määrittämiseksi tarvitaan tiedot polttoaineen massasta, kosteudesta saapumistilassa, sekä alemmasta tehollisesta lämpöarvosta. Jatkuvien toimitusten kohdalla suositellaan, että kosteusarvoja valvotaan sovitun toimituserän tai osatoimituserän osalta. (Bioenergia Oy 2014.)

5.2 Kosteus

Puupolttoaineiden on oltava mahdollisimman tasalaatuisia. Kosteusvaihteluihin on erityisesti kiinnitettävä huomiota. Toimituserien kosteuksia sovittaessa on otettava huomioon myös kausivaihtelut. (Bioenergia Oy 2014.)

Kotimaisten polttoaineiden kosteuden määrittäminen tehdään Suomessa ISO 589 -menetelmällä. Näytteiden koko määräytyy polttoaineen palakoon ja käytettävän punnitustarkkuuden mukaan. Punnitustarkkuuden ollessa 0,01 g, punnitaan vähintään kaksi 30 - 100 g näytettä. Tarkkuuden ollessa 0,1 g, punnitaan kaksi 200 - 400 g näytettä. Näytteet kuivataan vakiopainoon 105 ± 2 °C lämpötilassa

ilmastoidussa lämpökaapissa. Näytteen ollessa korkeintaan 30 mm paksuisena kerroksena, 16 tunnin kuivausaika riittää. Näytteitä ei saa kuitenkaan kuivata yli vuorokautta. Ennestään kuivat näytteet on poistettava lämpökaapista, kun sinne asetetaan kosteita näytteitä. Kosteusmäärittäessä on sovittava ennalta käytettävät menetelmät, esimerkiksi punnitaanko kuivatut näytteet kuumina suoraan lämpökaapista, vai annetaanko näytteiden jäähtyä eksikaattorissa. (Alakangas 2000.)

Näytteen kosteus lasketaan kuivauksen aikana tapahtuvasta massanmuutoksesta kaavan 1 mukaisesti:

$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

jossa M_{ar} on märkäpainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)

m_1 on märän näytteen massa (g)

m_2 on kuivatun näytteen massa (g).

5.3 Lämpöarvo

Lämpöarvo kertoo kuinka paljon täydellisessä palamisessa kehittyä lämpöä polttoaineen massaa kohti. Lämpöarvo ilmoitetaan kiinteillä ja nestemäisillä polttoaineilla yleensä megajouleina polttoainekiloa kohti (MJ/kg, 1MJ = 0,2778 kWh). Lämpöarvolla voidaan tarkoittaa ylempää, alempaa tai alinta lämpöarvoa, joista kerrotaan seuraavissa kappaleissa. Kiinteiden polttoaineiden kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon määrittämiseen käytetään standardeja ISO 1928, DIN 51900, ASTM D 1989-96, ASTM D 3286-96, ASTM E711, tai BS 1016; part 105. (Alakangas 2000.)

5.3.1 Kalorimetrinen lämpöarvo

Kalorimetrinen lämpöarvo, eli ns. ylempi lämpöarvo ottaa huomioon palamisen yhteydessä höyrystyvän veden höyrystymisenergian. Määritettäessä kalorimet-

ristä lämpöarvoa punnitaan ilmakeivasta näytteestä 1 gramma, joka poltetaan nesteeseen upotetussa kalorimetripommissa happiatmosfäärissä ja tästä mitataan vapautuva lämpö. Samalla määritetään analyysinäytteen kosteus, minkä avulla ilmakeivan näytteen lämpöarvo saadaan muunnettua vastaamaan absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvoa. Kahden rinnakkaismäärittelyn keskiarvo eli ylempi lämpöarvo absoluuttisen kuivalle näytteelle ilmoitetaan tuloksena. Rinnakkaismäärittelysten ero saa olla enintään 0,120 MJ/kg. Lämpöarvomäärittelyissä ilmoitustarkkuutena käytetään 0,01 MJ/kg. (Alakangas 2000.)

Kalorimetrinen lämpöarvo lasketaan kaavan 2 mukaisesti:

$$Q_{gr,d} = Q_{gr,ad} * \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2)$$

jossa $Q_{gr,d}$ on kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)

$Q_{gr,ad}$ on ilmakeivan näytteen kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)

M_{ad} on ilmakeivan näytteen analyysikosteus (%) (Alakangas 2000.)

5.3.2 Tehollinen eli alempi lämpöarvo

Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan yleensä tehollisena lämpöarvona, eli ns. alempana lämpöarvona. Alempi lämpöarvo saadaan kalorimetrisestä lämpöarvosta muunnoskaavalla, kun otetaan huomioon polttoaineen sisältämän vedyn palaessa syntyvä ja savukaasuissa poistuvan vesihöyryn haihtumiseen kuluva lämpömäärä. Absoluuttisen kuivan polttoaineen tehollinen lämpöarvo saadaan kalorimetrisestä lämpöarvosta kaavan 3 mukaisesti:

$$Q_{net,d} = Q_{gr,d} - 0,02441 * M \quad (3)$$

jossa $Q_{net,d}$ on kuiva-aineen tehollinen eli alempi lämpöarvo (MJ/kg)

$Q_{gr,d}$ on kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)

0,02441 (MJ/kg) on veden höyrystyslämmöstä aiheutuva korjaustekijä (+25°C)

M on polttoaineen kuiva-aineen sisältämän vedyn paa-
laessa syntynyt vesimäärä (%) (Alakangas 2000.)

5.3.3 Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

Kolmas tapa ilmoittaa lämpöarvo on tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa eli saapumistilassa. Tämä on alin lämpöarvo, koska lämpöarvosta vähennetään myös energiamäärä, mikä joudutaan käyttämään polttoaineen luontaisesti sisältämän ja palamisessa syntyvän veden haihduttamiseen. Tehollinen lämpöarvo saadaan kaavan 4 mukaisesti:

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} * \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02441 * M_{ar} \quad (4)$$

jossa $Q_{net,ar}$ on saapumistilaisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)

$Q_{net,d}$ on kuiva-aineen tehollinen eli alempi lämpöarvo (MJ/kg)

M_{ar} on vastaavan polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa (%) painotettuna kostean polttoaineen massalla

0,02441 (MJ/kg) on veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (+ 25 °C) (Alakangas 2000.)

5.3.4 Energiatiheys

Toimituserän energiatiheys saapumistilassa (E_{ar}) lasketaan irtotiheyden ja saapumistilaisen tehollisen lämpöarvon avulla kaavan 5 mukaan:

$$E_{ar} = \frac{1}{3600} * Q_{net,ar} * D_{ar} \quad (5)$$

jossa E_{ar} on saapumistilaisen polttoaineen energiatiheys (MWh/i-m³)

$Q_{net,ar}$ on saapumistilaisen polttoaineen lämpöarvo (MJ/kg)

D_{ar} on saapumistilaisen polttoaineen irtotiheys eli tilavuuspaino (kg/i-m³)

$\frac{1}{3600}$ on muuntokerroin energiayksiköille (MJ:sta MWh:in) (Alakangas 2000.)

5.3.5 Toimitettu energiamäärä

Toimitettu energiamäärä W (MWh:na) saadaan kaavalla 6:

$$W = \frac{Q_{net,ar}}{3,6} * m \quad (6)$$

jossa $\frac{Q_{net,ar}}{3,6}$ on saapumistilaisen tehollisen lämpöarvon (MJ/kg) muunto yksiköihin MWh/t

m on toimitetun polttoaineen massa tonneissa.

6 Sunilan tehtaan Kuorikattila 2

Leijukerrospolttoa käytetään petrokemiallisessa ja metallurgisessa teollisuudessa. Tekniikka on ollut käytössä useamman vuosikymmenen ajan, mutta kehittynyt voimakkaammin vasta vuoden 1973 öljykriisin jälkeen. Leijukerrospoltoissa on etuja matalan lämpöarvon omaavien polttoaineiden, kuten esimerkiksi biopolttoaineiden poltoissa. Leijukerroskattilat ovat perinteisten polttotapojen kattiloihin nähden edullisempia ja ne mukautuvat paremmin laatuvahteluihin.

Kattilan arinalla olevaa petimateriaalia leijutetaan puhaltamalla ilmaa arinasuuttimien läpi. Leijukerroskattilat voidaan jakaa neljään luokkaan riippuen ilman nopeudesta leijukerroksessa. Nopeuden kasvaessa leijukerroksen tyyppi muuttuu kiinteästä kuplivaksi, turbulentiksi ja lopulta kiertoleijuksi, kun puhallettava

ilma saavuttaa nopeuden, jolla petimateriaali kulkee ilmavirran mukana. Kuplivassa leijukerroksessa nopeudet ovat alle 3 m/s jolloin leijukerroksessa on nähtävissä selvä pinta.

Sunilan kuorikattila toimii kuplivan pedin alueella. Polttoaine syötetään pedin yläpuolelta ja petilämpötila täydellä kuormalla on noin 800 - 850 °C. Kattilalla voidaan tuottaa höyryä 65 bar paineella ja 470 °C lämpötilassa, kun syöttöveden lämpötila on 138 °C. Vaiheistetusta poltosta ja alhaisesta palamislämpötilasta johtuen NO_x:n muodostuminen on vähäistä. Petimateriaali koostuu hiekasta ja polttoaineen tuhkasta. Petimateriaalin lämpökapasiteetti riittää tasaisen ja varman palamisen varmistamiseksi. Voimakas sekoittuminen pedissä auttaa saamaan hyvän palamishyötysuhteen.

Höyrystyskyky yhdistetyllä lietteen-, kuoren- ja kaasunpoltolla on 28 kg/s, kuoren ja lietteen seospoltolla 14 kg/s ja pelkällä kuorenpoltolla 18 kg/s. Höyryn painetta säädellään kuori/kaasuvirtauksen muutoksilla. Kuorivirtausta säädetään kuorikuljettimien nopeutta muuttamalla. Kuoren virtaukselle lasketaan asetusarvo höyrynpaineen asetusarvosta, mittausarvosta ja höyryvirtauksesta. Laskenta ottaa huomioon kaasun virtauksen vaihtelun.

Tarvittava leijuminen pidetään yllä suuttimien läpi puhallettavalla primääriilmalla. Primääri-ilman asetusarvo muodostetaan laskennallisesti polttoaineen virtauksesta siten, että se seuraa muutoksia kattilakuormassa. Tulipesän paineen mittaus on suodatettu voimakkaasti niin mekaanisesti kuin ohjelmallisesti, jotta vältytään nopeiden, piikkimäisten paineheilahdusten vaikutuksilta. (Sunila Oy 1994.)

7 Näytteenotto

7.1 Näytteen ottaminen

Puunkäsittelyssä syntyvän kuorijätteen kuiva-ainepitoisuutta seurataan kuorinäytteiden avulla (kuva 9). Näytteenoton suorittaa ensisijaisesti puunkäsittelyosaston päivätyömies. Kuorinäyte otetaan kahdesta eri paikasta maanantaina ja

torstaina. Näytteenottopaikat ovat kuoripuristajien 1 (332.400) ja 2 (332.410) purkausluiskat.

Kummastakin näytteenottopaikasta otetaan kahden litran pakastepussiin mah-
tuva näyte. Näytepussiin merkitään päivämäärä, kellonaika, hakattava puulaji,
sekä näytteenottoaika. Pussit suljetaan tiiviisti ja toimitetaan laboratorioon
kuiva-ainepitoisuuden määrittämistä varten.



Kuva 9. Kuorinäytteen ottaminen näytteenottokauhalla



Kuva 10. Kuorinäytteen punnitseminen



Kuva 11. Kuorinäytteet kuivauskaapissa

Kuorinäytteet otetaan pusseistaan ja punnitaan foliorasiassa (kuva 10) siten, että ensin punnitaan tyhjä rasia, jonka jälkeen rasia punnitaan näytteen kanssa. Tämän jälkeen rasiassa oleva näyte asetetaan $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ asteeseen kuivauskaappiin (kuva 11), jossa se on 16 - 24 tuntia, kunnes näyte on kuiva eli sen

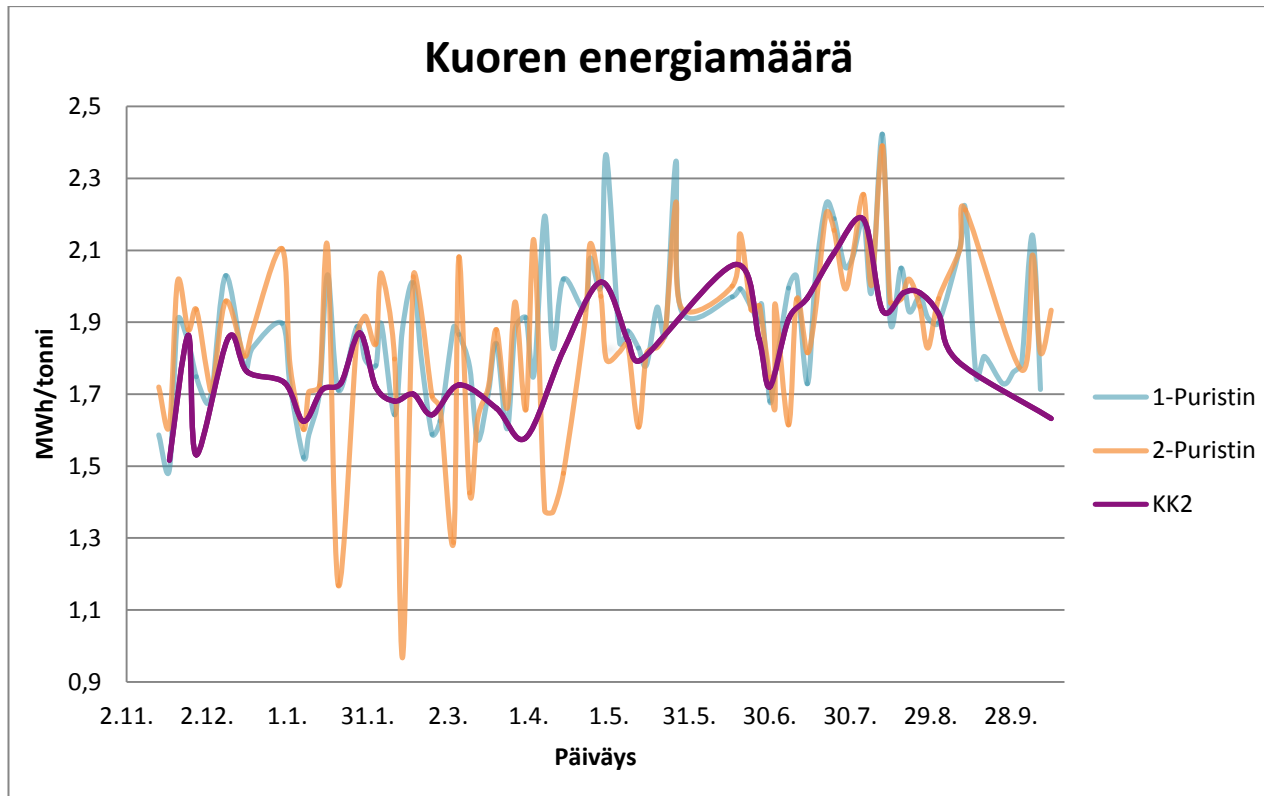
massa ei enää muutu. Kuorinäytteestä otetaan kuivapaino ja tulokset kirjataan tehtaan tietokantaan.

Kuorinäytteen ottamista tarkastellessa on syytä pohtia seikkoja, jotka vaikuttavat näytteen tulokseen. Onko esimerkiksi kaksi muovipussillista kahdesti viikossa riittävä otanta ja kuinka luotettava tulos on? Kuorimarummusta kuorimurskalle ja sitä kautta puristimelle ajautunut puu vaikuttaa kuiva-aineeseen siinä missä vedenerotuskuljettimelta ajettu liettynyt kuorimuju. Hajonta kuiva-ainenäytteissä on laaja, vaikka kuorimoa ajettaisiin tasaisesti automaattiasetuksilla näytteenoton aikana, johtuen vaihtelevasta puuhäviöstä, käytetyn sulatusveden määrästä ja puun tuoreudesta.

7.2 Kuiva-ainemittausten tulokset

Kuorinäytteitä kerättiin kuoripuristimien purkausluiskien lisäksi hihnakuljettimelta ennen kuorikattila KK2:ta. Kuiva-ainemittausten tuloksia tarkasteltiin aikavälillä 14.11.2013 – 13.10.2014 ja tulokset taulukoitiin. Taulukoissa 1 ja 2 käy ilmi tulo päivä, tuloaika, puulaji, ka-%, kosteus-%, kuoren vedetön lämpöarvo MJ/kg. Arvoilla laskettiin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg), jonka avulla saatiin energiamäärä MWh/t.

Kaaviossa 1 on esitetty liitteiden 1, 2 ja 3 tulokset graafisesti. Tulokset osoittavat, että kuoren energiamäärä laskee puristimilta kuorikattilalle siirron välillä 0,2 – 0,3 MWh/t. Kuorikattilalta otetun KA-näytteen käyrä seuraa johdonmukaisesti tarkastellun aikajakson sääilmiöitä. Marraskuu oli sateinen ja lämpötila poikkeuksellisen korkea. Joulukuu oli leudoimpia vuosikymmeniin. Toukokuussa nähtiin poikkeuksellisen suuria sademääriä; alueilla, joilla sataa toukokuussa tyypillisesti 30 – 40 mm, saattoi sataa vuorokaudessa yli 60 mm. Juhannuksena mitattiin lämpötiloja välillä -2 ... +6. Juhannuspäivän 2013 lämpötila oli Helsingissä mittaushistorian toiseksi alhaisin.



Kaavio 1. Kuoren energiamäärä

7.3 Kuiva-ainepitoisuuden parantaminen

Kuiva-ainemittausten tuloksista ilmeni, että sateisina aikoina kuoren kuiva-ainepitoisuus laski puristimilta kuorikattilalle mentäessä jopa 5 ka-%. Kuoren ylittäessä 60 % kosteuden se ei enää kelpaa myytäväksi, koska tällöin kuoren polttamiseksi tarvitaan apuna runsaasti maakaasua. Energiaksi myytäessä kuoren hinta lasketaan megawattitunneissa (MWh).

Havukuoren hintana voidaan pitää 15,50 €/MWh tehtaalle toimitettuna. Ajoneuvokuorman tilavuutena voimme pitää 120 i-m³, jolloin toimitusten paino on luokkaa 40 000 kg. Laskemalla kuoren vedettömällä lämpöarvolla 19,47 MJ/kg, 60 %:n kosteudella energiasisältö olisi 1,76 MWh/t ja 55 %:n kosteudella 2,06 MWh/t. Toisin sanoen 5% kuiva-aineen nostolla voitaisiin saavuttaa 0,3 MWh lisää energiaa tonnia kohden. 40 tonnin painoisella lastilla se tekee 12 MWh.

12 MWh lisäisi ajoneuvokuorman arvoa 186 €. Olettaen, että 40 tonnin kuormia kuorta haetaan kymmenen kertaa viikossa, 24 viikon ajan kostean kelin aikana, 55 %:n kosteuden sijasta 60 %:n kosteudella ulos myydystä kuoresta jää saamatta 44 640 €. Yhtäläilla tehtaalla olisi tehokasta saada kuori omaan käyttöön

korkeammalla energiasisällöllä, jolloin kuoren käytettävyys paranisi ja maakaasun tarve vähenisi. Kuoren käyttö tehtaassa omassa kattilassa vähentäisi myös kuljetuskustannuksia. Kuoren rahdiksi voidaan laskea 9 €/tonni (Husu 2015).

8 Tekniset ratkaisut

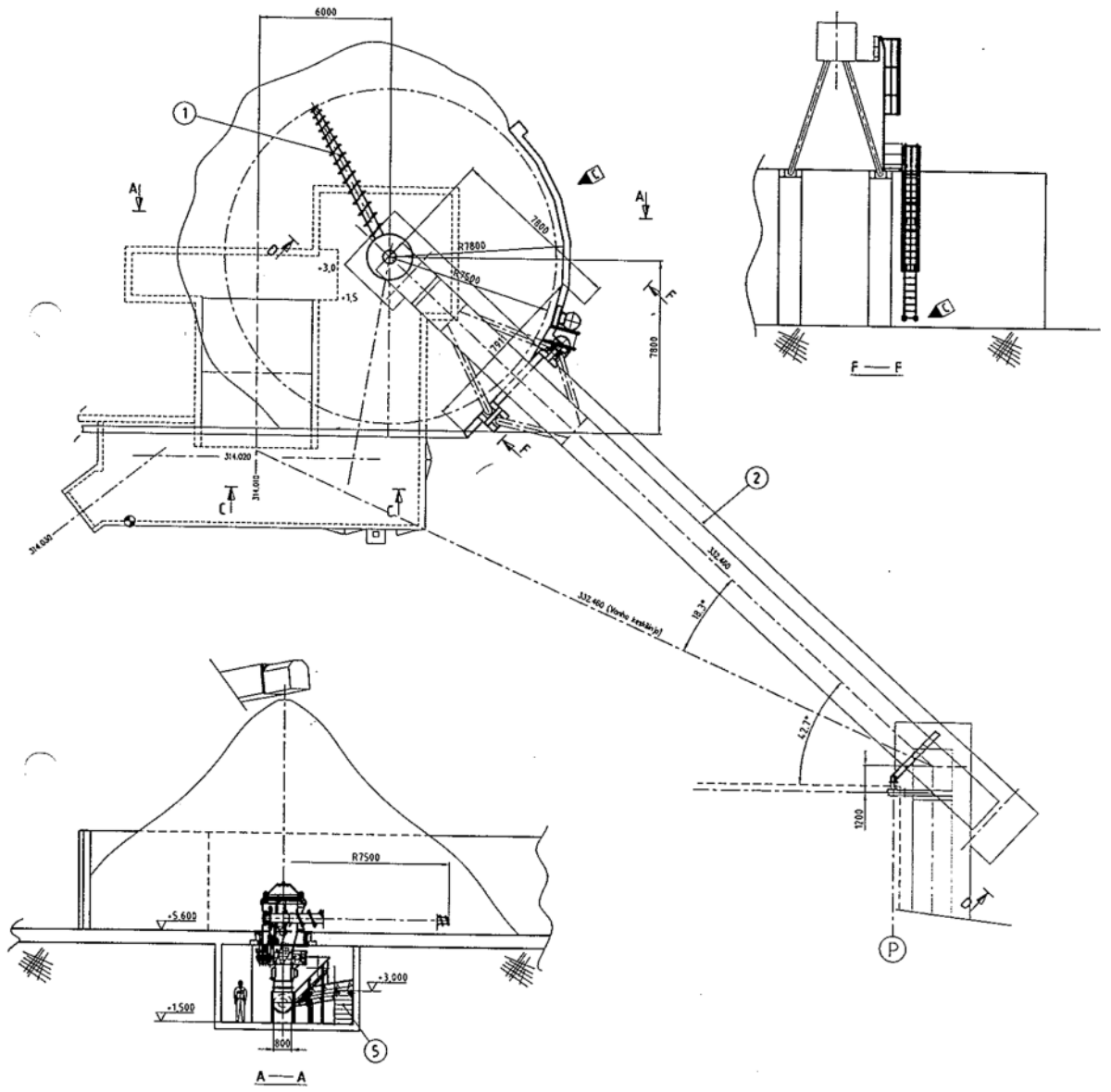
8.1 Lähtötilanne

BMH Wood Technologyn tekemissä kuorenkuljetuslinjan muutoksista vuodelta 2000 oli kirjattu seuraava toiminnankuvaus.

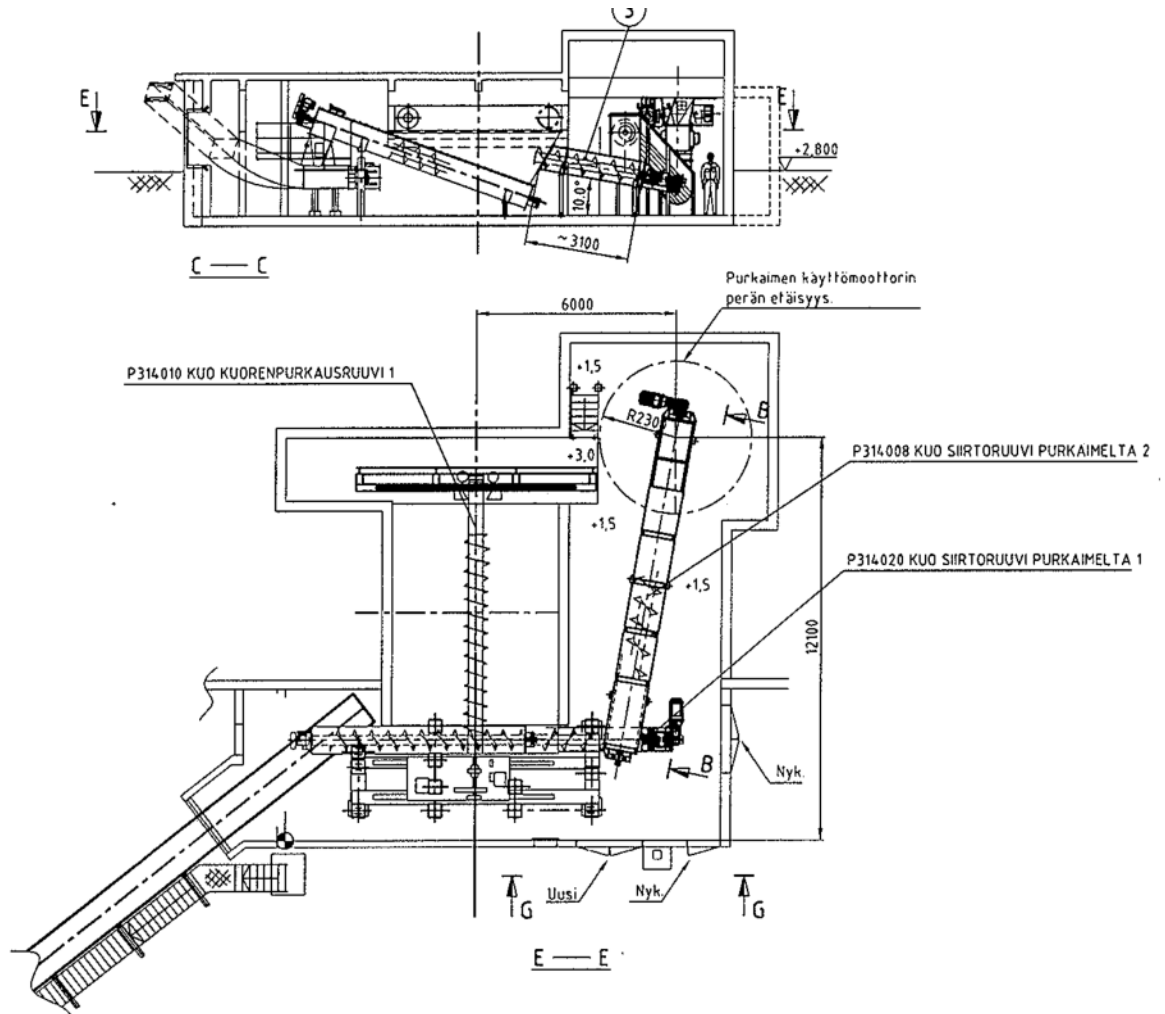
Kuori puretaan kuorikasalta ruuvipurkaimen 314.010 avulla siirtoruuville 314.020. Siirtoruuvilta kuori siirretään ketjukuljettimelle 314.030. Ketjukuljettimen kapasiteettia säädetään taajuusmuuttajan avulla 20 - 120 i-m³/h. Kuoren siltakuljettimelta materiaali siirretään kuoren väliruuville 314.050, joka siirtää materiaalin edelleen kuoren vintille vievälle hihnakuljettimelle 314.060. Hihnakuljettimen kapasiteettia voidaan säätää taajuusmuuttajan avulla 20 - 120 i-m³/h. Hihnakuljetinta voidaan syöttää myös puulaanin ruuvilla 307.870. Syöttäessä hihnakuljetinta 314.060 yhtä aikaa sekä ruuvilla 314.050 ja 307.870 tulee huolehtia (estää ohjelmassa) että hihnakuljettimen maksimikapasiteettia ei ylitetä. Hihnakuljetin 314.060 syöttää kuoren hihnakuljettimelle 314.070, jonka kapasiteettia voidaan säätää 20 - 100 i-m³/h. Hihnakuljetin 314.070 syöttää materiaalin ruuvikuljettimelle 314.080, joka siirtää materiaalin kuorisiiloon. Kuorilinjan kapasiteettia voidaan säätää seuraten kuorikasan ruuvipurkaimen 314.010 kapasiteettia. (BMH Wood Technology 2000.)

Raumaster Oy on kirjoittanut vuoden 2002 kuorenkäsittelymuutoksesta (kuvat 12 ja 13) seuraavan toiminnankuvauksen.

Kuorimo ajaa kuorta varastolle nykyisellä hihnakuljettimella, jonka purkauspään asennetaan kasan pintavahti. Kuoren purkaminen kuorikasalta tapahtuu pyörivällä ruuvipurkaimella 314.004. Ruuvipurkain on varustettu ruuvin käyttömoottorilla sekä kahdella kääntömoottorilla, joiden avulla purkain kääntyy hitaasti keskiönsä ympäri purkausalueella ja samalla ruuvi pyöriessään kuljettaa kuorta purkaimen keskirungon sisään, josta se putoaa purkaussuppilon kautta siilon alla olevalle ruuvikuljettimelle 314.008. Ruuvin käyttömoottoria ohjataan taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajan avulla säädetään purkaimen purkauskapasiteettia, muuttamalla ruuvin pyörimisnopeutta, joko käsiajolla tai ajamalla kuorisiilon pintasäätöä automaattilla. Purkaimen käyttömoottorit varustetaan myöskin taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalla säädetään kääntömoottoreita siten, että ne antavat vakiokääntömomentin. Kääntönopeus riippuu ruuviin kohdistuvasta vastuksesta. Ruuvikuljettimien 314.008 ja 314.009 kuori siirretään nykyiselle linjalle. Purkaimen ruuvin suuntatieto on tärkeä silloin, kun kasaa puretaan etukuormaajalla, ettei kauhalla rikota ruuvia tai kääntyvää runko-osaa. (Raumaster Oy 2002, 13.)



Kuva 12. Kuoren varastointi (Raumaster Oy 2002, 19)



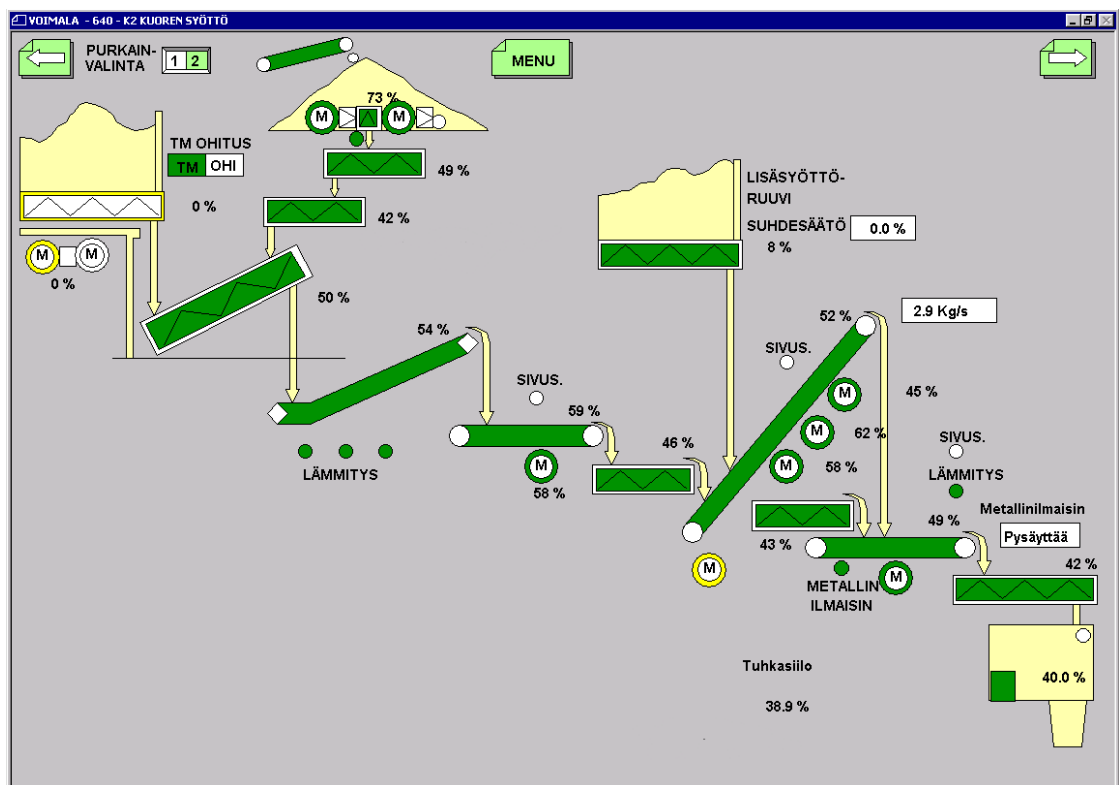
Kuva 13. Kuoren syöttö (Raumaster 2002, 20)

Työn tavoitteeksi asetettu kuoren energiasisällön säilyttämistä lähdetään tavoittelemaan teknisillä ratkaisuilla ohittamalla ulkona sijaitseva avonainen kuorikasa, jolle puristettu kuori ajetaan puristimilta ja ohjaamalla se suoraan voimalaitokselle kuorikasan ruvipurkaimen jälkeisille kuljettimille. Otimme yhteyttä Andritz Oy:n suunnitteluinsinööreihin Jukka Vekkeliin ja Jouni Väliheikkiin, joille esitelimme kohteen, jota lähtisimme uudistamaan. Andritzin kanssa yhteistyössä lähdettiin kehittämään kahta vaihtoehtoa kuorikasan ohitukselle.

8.2 Vaihtoehto 1

Ensimmäisenä vaihtoehtona kuorikasan ohitukselle pohdittiin kahteen suuntaan ajettavaa ruvikuljetinta suoraan kuoren hihnakuljetin 3:n alapuolelle, mikä ohjaisi kuoren kolakuljettimelle. Investointi olisi melko edullinen ja alkuperäinen ongelma saataisiin tällä ratkaistua, mutta se toisi mukanaan muita haasteita.

Ruuvien suunnan vaihto ei onnistu vauhdista, vaan koko kuorintaprosessi täytyisi aina keskeyttää ruuvien suunnanvaihdon ajaksi, jotta mikään laite ei kuorenkäsittelylinjalla tukkeutuisi. Tapa olisi aivan järjenvastainen ja monimutkaistaisi nykyistä toimivaa käytäntöä valtavasti. Lisäksi kahteen suuntaan ajettavalla ruuvilla tukosongelmat olisivat iso rasite, varsinkin talviaikana. Tämä työllistäisi myös valtavasti käyttöhenkilöstöä ja hidastaisi tuotantoa. Kuoren syöttöä voimalaitokselle ohjataan voimalaitokselta (kuva 14) ja jos kuorta ei voitaisi kuljettaa suoraan voimalaitokselle, se tarkoittaisi tällä ratkaisumallilla joka kerta kuorinon pysäyttämistä, jotta kuori voitaisiin ohjata entiseen tapaan kuorikasalle (kuva 15). Toimivuutta voitaisiin helpottaa ruuville asennettavalla sulkuluukulla, jota ohjattaisiin valvomosta käsin. Ruuvien kunnossapito olisi myös suuri haaste tuotannon ja voimalaitoksen toiminnan kannalta. Malli todettiin jo alkutekijöissä toteuttamiskelvottomaksi ja sitä ei lähdetty työstämään sen pidemmälle.



Kuva 14. Kuoren syötön ohjauskuva



Kuva 15. Kuoren siirto kuorikasalle

8.3 Vaihtoehto 2

Toisessa investointivaihtoehdossa on esitelty jakosuppilo kuoren hihnakuuljetin 3:n ja suunnitellun, yhteen suuntaan ajettavan ruuvin välille. Hihnakuuljetin purkaa kuoren jakosuppiloon, mikä ohjaa kuoren joko kuorikasalle tai ohitusruuville. Ruuvi asennettaisiin suppiloon siten, että ensisijainen purkusuunta olisi ruuville ja toinen kasan suuntaan. Ruuvi kuljettaa kuoren uuteen pudotussuppiloon, jolla kuori ohjataan ennen kolakuuljetinta sijaitsevalle kuoren siirtoruuville 314.020 (kuva 16). Tälle kuljettimelle asennettaisiin lisäkannet ja kumihelmat pölyämisen estämiseksi. Toimintakuvaus suunnitellulle investointivaihtoehdolle olisi seuraava:

Ajosuunta 1: Kun kuoripuristin 332.400 käy, Kuorihihna 332.460 käy. Jakosuppilon positio 1. Uusi ruuvi käy. 314.004 seis. 314.008 seis. 314.009 seis. 314.020 käy.

Ajosuunta 2: Kun kuoripuristin 332.400 seis, 332.460 käy. Jakosuppilon positio 2 (Kuoret kasalle). Uusi ruuvi seis. 314.004 käy. 314.008 käy. 314.009 käy. 314.020 käy.



Kuva 16. Kuoren siirtoruuvi purkaimelta

Koska jakosuppilo madaltaa pudotuskorkeutta ja pienentää kasan korkeutta ja leveyttä, tehdään nykyisen seinän läpi tukirakenne jännevälin lyhentämiseksi. Nykyisen kuljetinsillan kestävyyslaskenta olisi vaikeaa siihen jo tehtyjen muutosten vuoksi. Laitteiden tukeminen kuljetinsiltaan aiheuttaisi niin suuren lisäkuorman, että sillan lujuustarkastelut olisi tehtävä ja todennäköisesti siltaa vahvistettava. Näin ollen kaikki mahdolliset investoitavat laitteet tuettaisiin uudesta tukirakenteesta. Kasan pohjalta tukirakenteeseen jäisi vapaata korkeutta noin 6,7 metriä, jolla välillä kauhakuormaaja pystyisi operoimaan kuorikasan purkuruuvilla hakien tai syöttäen kuorta. (Andritz Oy 2015.)

Koneenkuljettajien kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta syntyi kysymyksiä, joihin on aiheellista perehtyä, mikäli kuoren energiasisällön säilyttäminen takaa investoinnille lyhyen takaisinmaksuajan. Huolenaiheena koettiin se, miten pystytään estämään, ettei kuori tuki jakosuppiloa tai jääkö kuorikasalle liian vähän tilaa kauhakoneelle. Toimittajalle päätettiin ehdottaa optiota lisätä tehtyyn tarjoukseen sulkuluukku mahdollisen tilanpuutteen sekä nykyisen kuorikasan purkainruuvien hajottamisen ennaltaehkäisemiseksi. Kuori saataisiin ajettua vielä kolmanteen suuntaan, kasan purkainruuvien viereen, sen sijaan että kuori pudotettaisiin suppilosta suoraan purkaimen päälle. Suppilon tukokset vältettäisiin myös tällä tavalla.

Lisäksi kysymyksiä herätti, kuinka kuoren kolakuljettimen kapasiteetti on otettu huomioon, sekä purun syöttö kuorikattilalle, mikäli investointi toteutuisi. Purun syötön kanssa ei syntyisi ongelmia, kunhan kuorta syötettäisiin samanaikaisesti, eli tulisi säilyttää mahdollisuus ajaa kuorikasalta vanhaan tapaan samalla, kun kuorta syötettäisiin uudella ruuvilla. Kuorimon tuotannon katkot herättivät myös kysymyksiä muutostyötä kohtaan. Mikäli kuorinta keskeytyy, esimerkiksi metallinilmaisimen hälytyksestä, ei välitöntä haittaa ehdi syntymään, koska kuoripuristimen tyhjeneminen vie aikaa joitakin minutteja. Sen sijaan jos kuorimonhoitajien on esimerkiksi lähdettävä aukaisemaan tukoksia tai selvittämään ongelmia hakkeen syötössä keittämölle, jotka vaativat kuorinnan keskeyttämistä, olisi heidän muistettava pysäyttää kuoripuristimet, jotta kuoren syöttö voimalaitokselle jatkuisi kuorikasan purkainruuvilta.

9 Kannattavuus

9.1 Säästöjen kartoittaminen

Investoinnin kannattavuutta voidaan pohtia muutamalta eri kantilta. Yksi niistä on kuorikattilan hyötysuhteen paraneminen alentamalla savukaasuhäviöitä. Polttoaineen syöttö kuorikattilalle vuonna 2014 oli keskimäärin 3,2 kg/s. 60 %:n kosteudessa kuoren mukana ajetaan vettä kattilalle 1,92 kg/s ja 58 %:n kosteudessa 1,856 kg/s. Tämä 64 g/s erotus näkyy kattilalla savukaasuhäviöinä 0,176 MW verran. Kun polttoaineen kuiva-ainepitoisuus nousisi 2%-yksikköä, polttoainetta säästettäisiin 0,916667 %. Vuonna 2014 kuorta käytettiin kuorikattilalla 186259 MWh. Kuorta jäisi siis varastoon myytäväksi 1860 MWh, eli n. 22 000 € arvosta. Kuorta kuitenkin ostetaan megawattitunneissa ja rahdista maksetaan ajoneuvokuormien tonnien mukaan. Kun kuori myydään korkeammassa kuiva-aineessa, myydään vähemmän tonneja, eli tehdas hyötyy rahdin hinnassa. Savukaasuhäviöiden alenema on laskettu taulukossa 3.

Polttoaineen massavirta	3,2 kg/s
Polttoaineen kosteus alkutilassa	40 %
Polttoaineen kosteus jälkitila	42 %
Polttoaineteho	19,2 MW
qm vesi1	1,28 kg/s
qm vesi 2	1,344 kg/s
erotus entalpia	0,064 kg/s
Savukaasujen loppulämpötila	140 C
vesihöyryn entalpia	2750 kJ/lkg
Lisääntynyt savukaasuhäviö	<u>0,176 MW</u>
Säästyvä polttoainemäärä	0,916667 %

Taulukko 1. Savukaasuhäviöiden alenema

Toinen mahdollinen keino lähestyä kuoren kuiva-aineen nostamisesta saatavista säästöistä, olisi laskea se, kuinka pitkään kuorimolla voitaisiin kesäaikaan ajaa kuorta käyttämällä vain toista puristinta ilman kuoren kuiva-aineen putoamista alle 40 %:n ja laskea säästö sähkökulutuksessa, kun toinen puristin on seis.

9.2 Investoinnin kustannukset

Toiselle investointivaihtoehdolle laskettiin kustannusarvio. Kuorikasan ohituksen laitteistojen hinnaksi muodostui 280 000 €. Sunilan tehtaan kunnossapitopalvelun insinööreiltä pyydettiin lisäksi arviota automatisoinnin ja kaapeloinnin kustannuksista, joiden hinnaksi arvioitiin korkeintaan 20 000 €. Edellä mainittujen lisäksi tilaaja hankkii ja kustantaa perustukset, timanttileikkauksen olemassa oleviin betonirakenteisiin, eristykset, lämmitykset, moottorit, asennuksessa tarvittavat sähkö ja paineilma, ensisammutuskalusto, palovartiointi, sekä alueen puhdistus ennen seisakkia. Tehtaalla on käytetty tämän kokoluokan investoinneissa 15 %:n nousuvarausta kustannukselle. Taulukon 1 laskelmien perusteella arvioidulla 22 000 € vuotuisella säästöllä 342 000 € investoinnin takaisinmaksuaika venyisi jo 15,5 vuoteen ilman laskentakoron huomiointiakin. Näin pitkä

takaisinmaksuaika aiheuttaa sen, että huomattavasti kannattavammat hankkeet menevät tämän edelle, koska investointihankkeen toteutumisen tukena ei ole ympäristövaatimuksen tai lain vaatimaa veloitetta. Periaate on, että vuoden tai kahden sisällä itsensä takaisin maksavat investoinnit toteutetaan yleensä heti tai mahdollisimman nopeasti. Kaikista suotuisin tilanne on saada investoinnille alle vuoden takaisinmaksuaika, jolloin kustannukset saadaan katettua saman tilikauden sisällä. (Peltonen 2015.)

10 Yhteenveto

10.1 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuoren energiasisällön säilyttämistä. Työssä selvitettiin, kuinka paljon kuoren kuiva-aine laskee kuoripuristimien jälkeen ajettaessa kuori avokasalle. Työssä selvitettiin kahden investointivaihtoehdon tuomia etuja ja haasteita. Toiselle investointivaihtoehdolle, jota lähdettiin kehittämään eteenpäin, laskettiin takaisinmaksuaika.

Kummatkin investointivaihtoehdot kuorikasan ohituskuljettimiksi toteuttaisivat halutun energiasisällön säilymisen, mutta toisivat mukanaan haasteita hallittaessa kuoren syöttöä voimalaitokselle, mm. kuorimon häiriötilanteissa. Investoinnille laskettu yli 15 vuoden takaisinmaksuaika todettiin liian suureksi, että sitä olisi järkevä toteuttaa. Investointikustannusten takaisinmaksuaika on lisäksi laskettu olettaen, että kuorikattilalta saataisiin säästettyä polttoainetta vuosittain yhtä paljon, mikä on epätodennäköistä. Projektin toteuttamisen hyväksymiseksi tarvittaisiin toteutukselle enemmän painoarvoa, esimerkiksi nojaten lakiin tai ympäristövaatimuksiin.

Kuoren näytteenotto on suuntaa-antava ja hajonta on laaja johtuen materiaalista. 2 %:n kuiva-aineen nosto kuitenkin nostaisi kuorikattilan hyötysuhdetta ja toisi sitä kautta säästöä yhtiölle. Toisaalta taas kesäaikana kuorta voitaisiin puristaa käyttämällä vain toista puristinta ja saada säästö sähkönkulutuksessa. On kuitenkin selvää, että investoinnin tuoma hyöty saataisiin aikaiseksi myös kattamalla kuorikasa. Tällöin ei tarvitsisi koskea nykyiseen sinällään toimivaan

prosessiin, välttyttäisiin investoinnin tuomilta yllättäviltä lisäkustannuksilta ja myöhemmiltä kunnossapidollisilta kustannuksilta.

10.2 Jatkotutkimuskohteet

Sunilan puunkäsittelyn alueelle on suunnitelmassa hakea tulevana kesänä ympäristölupaa asfaltoidulle kentälle, jonne on tarkoitus kerätä kesän aikana talvivarastoa kuorelle. Kesäisin kuoren tarve vähenee tehtaalla, samoin markkinat hiipuvat. Talvella kuorelle on runsaasti kysyntää, kunhan kuoren kuiva-ainepitoisuus on käytettävyyden rajoissa. Eräs ratkaisu talvivarastolle olisi katettu aumavarasto (Kuva 17).



Kuva 17. Katettu kuorivarasto (KnowPulp 2015)

Ruotsissa on käynnissä koeajomenettely, jossa kuoren kuiva-ainepitoisuutta ja käytettävyyttä on pyritty hallitsemaan rakentamalla kuorivarastoksi aumakasa. Kasan päälle on levitetty kangas, jolla vältetään kuoren kastuminen. Kasan alla kulkee alipaine, jonka avulla saadaan kuorikasasta poistettua kosteutta, sekä happea. Hapen poisto kasasta estää kuoren hapettumisen eli käymisen, jolloin kuoren rakenne muuttuu mullaksi ja käytettävyys polttoaineena laskee. Hapen poisto alipaineen avulla estää vähentää myös kuoren syttymisriskiä.

Jatkotutkimuksen kohteena olisi syytä selvittää, kuinka pitkään kuorta voitaisiin kesäaikaan puristaa käyttämällä vain toista puristinta, ilman että kuoren kosteus nousee yli 60 % ja laskea tätä kautta saatava säästö sähkönkulutuksessa. Todennäköisesti saatava säästö olisi enemmän kuin säästö, jota saadaan siitä, kun kuorta jää enemmän myytäväksi. Tämä pystyisi mahdollistamaan investoinnit kuoren varastoinnille tulevaisuudessa.

Kuvat

- Kuva 1. Stora Enso Sunilan tehdas, s. 8
- Kuva 2. Puukenttäalue, s. 10
- Kuva 3. Kuorinta, s. 12
- Kuva 4. Hakkeen purku, s. 12
- Kuva 5. Rummun purkauspää, s. 13
- Kuva 6. Kuoripuristin, s. 15
- Kuva 7. Kuoripuristimen toimintaperiaate, s. 16
- Kuva 8. Kuoren rakenne, s. 18
- Kuva 9. Kuorinäytteen ottaminen näytteenottokauhalla, s. 25
- Kuva 10. Kuorinäytteen punnitseminen, s. 26
- Kuva 11. Kuorinäytteet kuivauskaapissa, s. 26
- Kuva 12. Kuoren varastointi, s. 30
- Kuva 13. Kuoren syöttö, s. 31
- Kuva 14. Kuoren syötön ohjauskuva, s. 32
- Kuva 15. Kuoren siirto kuorikasalle, s. 33
- Kuva 16. Kuoren siirtoruuvi purkaimelta, s. 34
- Kuva 17. Katettu kuorivarasto, s. 38

Kaaviot

- Kaavio 1. Kuoren energiamäärä, s.28

Taulukot

- Taulukko 1. Savukaasuhäviöiden alenema, s. 36

Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Otamedia Oy. Espoo.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>. Luettu 2.11.2014.

Aluehallintovirasto 2010. Päätös.
http://www.avi.fi/documents/10191/56820/esavi_paatos_33-2010-1.pdf. Luettu 27.10.2014.

Andritz Oy 2015. Kuorikasan ohitus. Päiväys 8.5.2015.

Bioenergia Oy 2014. Puupolttoaineiden laatuohje - päivitys 2014.
http://www.bioenergia.fi/Tietoa_puuenergiasta. Luettu 16.11.2014.

BMH Wood Technology 2000. Kuorenkäsittely. Toimintakuvaus. 6.11.2000.

Husu, S. Metsäenergiaesimies. Stora Enso. Haastattelu. 14.4.2015.

Jääskeläinen, A.S. & Sundqvist, H. 2007. Puun rakenne ja kemia. Otatieto. Helsinki.

Know Pulp 2015. Sellutekniikan ja automation oppimisympäristö. Versio 12.0. Luettu 22.4.2015.

Peltonen, J. Projekti-insinööri. Stora Enso. Haastattelu. 8.5.2015.

Raumaster Oy Wood Handling 2002. Kuorenkäsittely. Toimintakuvaus. 16.12.2002.

Rämö, V. 2012. Puun kemia. Luentomateriaali. Saimaan Ammattikorkeakoulu. Imatra.

Saalasti 2013. Käyttö- ja huolto-ohje.

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V.A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. 2002. Kemiaallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus. Opetushallitus.

Sepsilva Ltd Oy 1997. Puusta paperiin M-210. Puunkäsittely. 2. Painos. Hamina. Kotkan kirjapaino Ab.

Stora Enso Oyj 2014a. Stora Enso lyhyesti.
<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti>. Luettu 27.10.2014.

Stora Enso Oyj 2014b. Puunkäsittely. Esittelymateriaali. 9.4.2014.

Stora Enso Oyj 2015. Biomaterials. Sunila Mill.
<http://biomaterials.storaenso.com/about-us/sunila>. Luettu 17.4.2015.

Sunila Oy 1994. Höyrykattilamodernisointi. Hankintasopimus. Liite 2.

Teknosavo Oy 2014a. <http://www.teknosavo.fi/tuotteet>. Luettu 2.11.2014.

Teknosavo Oy 2014b. WoodSmart Kuorinnan optimointijärjestelmä.
http://www.teknosavo.fi/UserFiles/2e69ef14-35ed-4582-bdc0-779d303911a0/Web/dokumentit/WoodSmart_fin72.pdf. Luettu 2.11.2014.

Teknosavo Oy 2014c. BarkSmart reaaliaikaiseen puhtausmittaukseen.
http://www.teknosavo.fi/UserFiles/2e69ef14-35ed-4582-bdc0-779d303911a0/Web/dokumentit/BarkSmart_fin72.pdf. Luettu 2.11.2014.

Teknosavo Oy 2014d. ProfiSmart reaaliaikaiseen puuhäviömittaukseen.
http://www.teknosavo.fi/UserFiles/2e69ef14-35ed-4582-bdc0-779d303911a0/Web/dokumentit/ProfiSmart_fin72.pdf. Luettu 2.11.2014.

Liite 1
1(2)

Tulo-päivä	Tulo-aika	lämpöarvo vedetön MJ/kg	KK2 Ka%	kosteus %	tehollinen lämpöarvo saapumis-tilassa MJ/kg	Energiamäärä MWh/tonni
14.11.13	7:25					
18.11.13	7:15	19,470	36,05	63,95	5,458	1,52
21.11.13	7:20					
25.11.13	7:25					
25.11.13	11:40	19,470	41,76	58,24	6,709	1,86
28.11.13	7:15					
28.11.13	11:00	19,470	36,3	63,7	5,513	1,53
2.12.13	7:15					
4.12.13	7:15					
9.12.13	7:15					
10.12.13	9:00	19,470	41,65	58,35	6,685	1,86
16.12.13	7:15					
17.12.13	12:40	19,470	40,09	59,91	6,343	1,76
19.12.13	7:20					
30.12.13	7:20					
31.12.13	12:00	19,470	39,59	60,41	6,234	1,73
2.1.14	7:20					
7.1.14	7:20					
7.1.14	13:10	19,470	37,83	62,17	5,848	1,62
9.1.14	7:20					
13.1.14	7:20					
14.1.14	8:15	19,470	39,28	60,72	6,166	1,71
16.1.14	7:20					
20.1.14	7:20					
21.1.14	8:20	19,470	39,58	60,42	6,231	1,73
27.1.14	7:20					
28.1.14	12:40	19,470	41,87	58,13	6,733	1,87
30.1.14	7:15					
3.2.14	7:15					
3.2.14	12:30	19,470	39,39	60,61	6,190	1,72
5.2.14	12:30					
10.2.14	7:15					
10.2.14	12:45	19,470	38,75	61,25	6,050	1,68
13.2.14	7:20					
17.2.14	7:15					
17.2.14	10:15	19,470	39,07	60,93	6,120	1,70
20.2.14	7:20					
24.2.14	7:15					
24.2.14	10:00	19,470	38,13	61,87	5,914	1,64
27.2.14	7:20					
4.3.14	7:20					
4.3.14	7:25					
6.3.14	7:15					
6.3.14	8:50	19,470	39,49	60,51	6,212	1,73
10.3.14	7:20					
10.3.14	7:25					
13.3.14	7:41					
17.3.14	7:20					
20.3.14	7:15					
20.3.14	13:00	19,470	38,43	61,57	5,979	1,66
24.3.14	7:15					
27.3.14	7:15					
31.3.14	7:25					
31.3.14	11:30	19,470	37,08	62,92	5,684	1,58

Liite 1
2(2)

3.4.14	7:25					
7.4.14	7:20					
10.4.14	7:20					
14.4.14	7:15					
14.4.14	11:30	19,470	41,07	58,93	6,558	1,82
22.4.14	7:20					
24.4.14	7:20					
28.4.14	7:15					
28.4.14	9:00	19,470	44,19	55,81	7,241	2,01
30.4.14	6:20					
5.5.14	7:25					
8.5.14	7:15					
8.5.14	12:45	19,470	41,54	58,46	6,661	1,85
12.5.14	7:20					
13.5.14	9:10	19,470	40,64	59,36	6,464	1,80
15.5.14	7:20					
19.5.14	7:25					
22.5.14	7:20					
26.5.14	7:20					
28.5.14	6:20					
16.6.14	7:15					
17.6.14	17:00	19,470	44,99	55,01	7,417	2,06
19.6.14	7:15					
23.6.14	8:20					
23.6.14	8:25					
26.6.14	7:15					
26.6.14	9:30	19,470	41,59	58,41	6,672	1,85
27.6.14	7:15					
30.6.14	7:15					
30.6.14	10:30	19,470	39,4	60,6	6,192	1,72
2.7.14	7:15					
2.7.14	7:20					
7.7.14	7:15					
7.7.14	10:50	19,470	42,5	57,5	6,871	1,91
10.7.14	7:20					
10.7.14	7:25					
14.7.14	9:20					
14.7.14	13:10	19,470	43,47	56,53	7,084	1,97
17.7.14	7:15					
21.7.14	7:20					
24.7.14	7:20					
24.7.14	12:50	19,470	45,52	54,48	7,533	2,09
28.7.14	7:20					
31.7.14	9:30					
4.8.14	7:20					
4.8.14	10:45	19,470	47,06	52,94	7,870	2,19
7.8.14	7:20					
11.8.14	7:15					
11.8.14	13:50	19,470	42,9	57,1	6,959	1,93
14.8.14	7:25					
18.8.14	7:25					
18.8.14	9:20					
19.8.14	12:45	19,470	43,71	56,29	7,136	1,98
21.8.14	7:15					
25.8.14	7:15					
25.8.14	9:30	19,470	43,7	56,3	7,134	1,98
28.8.14	7:20					
1.9.14	7:15					
1.9.14	9:30	19,470	42,74	57,26	6,924	1,92
8.9.14	9:20	19,470	40,6	59,4	6,455	1,79
9.9.14	9:15					
11.9.14	7:15					
15.9.14	7:25					
18.9.14	7:20					
25.9.14	7:25					
29.9.14	7:25					
2.10.14	7:25					
6.10.14	7:20					
9.10.14	7:25					
13.10.14	7:20					
13.10.14	13:45	19,470	37,96	62,04	5,876	1,63

Liite 2
1(2)

Tulo-päivä	Tulo-aika	lämpöarvo vedetön MJ/kg	Puulaji	1-Puristin Ka%	kosteus %	tehollinen lämpöarvo saapumis-tilassa MJ/kg	Energiamäärä MWh/tonni
14.11.13	7:25	19,470	mänty	37,21	62,8	5,712	1,59
18.11.13	7:15	19,470	mänty	35,64	64,4	5,368	1,49
21.11.13	7:20	19,470	kuusi	42,45	57,6	6,860	1,91
25.11.13	7:25	19,470	Kuusi	41,45	58,6	6,641	1,84
25.11.13	11:40						
28.11.13	7:15	19,470	mänty	39,87	60,1	6,295	1,75
28.11.13	11:00						
2.12.13	7:15	19,470	mänty	38,65	61,4	6,028	1,67
4.12.13	7:15	19,470	mänty	39,28	60,7	6,166	1,71
9.12.13	7:15	19,470	kuusi	44,49	55,5	7,307	2,03
10.12.13	9:00						
16.12.13	7:15	19,470	mänty	40,3	59,7	6,389	1,77
17.12.13	12:40						
19.12.13	7:20	19,470	kuusi	41,19	58,8	6,584	1,83
30.12.13	7:20	19,470	kuusi	42,31	57,7	6,830	1,90
31.12.13	12:00						
2.1.14	7:20	19,470	kuusi	39,49	60,5	6,212	1,73
7.1.14	7:20	19,470	mänty	36,19	63,8	5,489	1,52
7.1.14	13:10						
9.1.14	7:20	19,470	mänty	37,22	62,8	5,714	1,59
13.1.14	7:20	19,470	mänty	39,18	60,8	6,144	1,71
14.1.14	8:15						
16.1.14	7:20	19,470	kuusi	44,53	55,5	7,316	2,03
20.1.14	7:20	19,470	Mänty	39,26	60,7	6,161	1,71
21.1.14	8:20						
27.1.14	7:20	19,470	Mänty	42,16	57,8	6,797	1,89
28.1.14	12:40						
30.1.14	7:15	19,470	kuusi	40,66	59,3	6,468	1,80
3.2.14	7:15	19,470	mänty	40,38	59,6	6,407	1,78
3.2.14	12:30						
5.2.14	12:30	19,470	kuusi	42,29	57,7	6,825	1,90
10.2.14	7:15	19,470	mänty	38,13	61,9	5,914	1,64
10.2.14	12:45						
13.2.14	7:20	19,470	mänty	42,11	57,9	6,786	1,88
17.2.14	7:15	19,470	kuusi	44,17	55,8	7,237	2,01
17.2.14	10:15						
20.2.14	7:20	19,470	kuusi	40,67	59,3	6,470	1,80
24.2.14	7:15	19,470	mänty	37,24	62,8	5,719	1,59
24.2.14	10:00						
27.2.14	7:20	19,470	mänty	37,85	62,2	5,852	1,63
4.3.14	7:20						
4.3.14	7:25	19,470	kuusi	42,13	57,9	6,790	1,89
6.3.14	7:15	19,470	kuusi	41,8	58,2	6,718	1,87
6.3.14	8:50						
10.3.14	7:20						
10.3.14	7:25	19,470	kuusi	40,31	59,7	6,391	1,78
13.3.14	7:41	19,470	Mänty	36,98	63,0	5,662	1,57
17.3.14	7:20	19,470	mänty	39,14	60,9	6,135	1,70
20.3.14	7:15	19,470	kuusi	41,38	58,6	6,626	1,84
20.3.14	13:00						
24.3.14	7:15	19,470	mänty	37,49	62,5	5,773	1,60
27.3.14	7:15	19,470	mänty	42,05	58,0	6,773	1,88
31.3.14	7:25	19,470	Kuusi	42,57	57,4	6,887	1,91

Liite 2
2 (2)

31.3.14	11:30							
3.4.14	7:25	19,470	Mänty	39,97	60,0	6,317	1,75	
7.4.14	7:20	19,470	kuusi	47,21	52,8	7,903	2,20	
10.4.14	7:20	19,470	kuusi	41,2	58,8	6,586	1,83	
14.4.14	7:15	19,470	kuusi	44,33	55,7	7,272	2,02	
14.4.14	11:30							
22.4.14	7:20	19,470	Kuusi	42,93	57,1	6,965	1,93	
24.4.14	7:20	19,470	Kuusi	45,29	54,7	7,482	2,08	
28.4.14	7:15	19,470	kuusi	44	56,0	7,200	2,00	
28.4.14	9:00							
30.4.14	6:20	19,470	kuusi	50	50,0	8,515	2,37	
5.5.14	7:25	19,470	mänty	41,42	58,6	6,635	1,84	
8.5.14	7:15	19,470	mänty	41,96	58,0	6,753	1,88	
8.5.14	12:45							
12.5.14	7:20	19,470	kuusi	41,18	58,8	6,582	1,83	
13.5.14	9:10							
15.5.14	7:20	19,470	kuusi	40,41	59,6	6,413	1,78	
19.5.14	7:25	19,470	Mänty	43,05	57,0	6,992	1,94	
22.5.14	7:20	19,470	mänty	41,79	58,2	6,716	1,87	
26.5.14	7:20	19,470	kuusi	49,72	50,3	8,453	2,35	
28.5.14	6:20	19,470	kuusi	42,88	57,1	6,954	1,93	
16.6.14	7:15	19,470	mänty	43,52	56,5	7,095	1,97	
17.6.14	17:00							
19.6.14	7:15	19,470	mänty	43,89	56,1	7,176	1,99	
23.6.14	8:20							
23.6.14	8:25	19,470	kuusi	43,06	56,9	6,994	1,94	
26.6.14	7:15	19,470	-	42,37	57,6	6,843	1,90	
26.6.14	9:30							
27.6.14	7:15	19,470	-	43,14	56,9	7,011	1,95	
30.6.14	7:15	19,470	-	38,76	61,2	6,052	1,68	
30.6.14	10:30							
2.7.14	7:15	19,470	-	40,08	59,9	6,341	1,76	
2.7.14	7:20							
7.7.14	7:15	19,470	mänty	43,92	56,1	7,182	2,00	
7.7.14	10:50							
10.7.14	7:20							
10.7.14	7:25	19,470	-	44,43	55,6	7,294	2,03	
14.7.14	9:20	19,470	mänty	39,55	60,5	6,225	1,73	
14.7.14	13:10							
17.7.14	7:15	19,470	mänty	44,37	55,6	7,281	2,02	
21.7.14	7:20	19,470	kuusi	47,77	52,2	8,026	2,23	
24.7.14	7:20	19,470	kuusi	47,09	52,9	7,877	2,19	
24.7.14	12:50							
28.7.14	7:20	19,470	mänty	44,9	55,1	7,397	2,05	
31.7.14	9:30	19,470	kuusi	45,36	54,6	7,498	2,08	
4.8.14	7:20	19,470	kuusi	47,02	53,0	7,862	2,18	
4.8.14	10:45							
7.8.14	7:20	19,470	mänty	43,74	56,3	7,143	1,98	
11.8.14	7:15	19,470	mänty	50,95	49,1	8,723	2,42	
11.8.14	13:50							
14.8.14	7:25	19,470	Mänty	42,33	57,7	6,834	1,90	
18.8.14	7:25	19,470	mänty	44,83	55,2	7,382	2,05	
18.8.14	9:20							
19.8.14	12:45							
21.8.14	7:15	19,470	mänty	42,85	57,2	6,948	1,93	
25.8.14	7:15	19,470	mänty	43,55	56,5	7,101	1,97	
25.8.14	9:30							
28.8.14	7:20	19,470	kuusi	42,56	57,4	6,884	1,91	
1.9.14	7:15	19,470	kuusi	42,33	57,7	6,834	1,90	
1.9.14	9:30							
8.9.14	9:20							
9.9.14	9:15	19,470	kuusi	45,79	54,2	7,592	2,11	
11.9.14	7:15	19,470	kuusi	47,48	52,5	7,962	2,21	
15.9.14	7:25	19,470	Mänty	39,85	60,2	6,291	1,75	
18.9.14	7:20	19,470	mänty	40,8	59,2	6,499	1,81	
25.9.14	7:25	19,470	mänty	39,55	60,5	6,225	1,73	
29.9.14	7:25	19,470	mänty	40,1	59,9	6,345	1,76	
2.10.14	7:25	19,470	mänty	40,51	59,5	6,435	1,79	
6.10.14	7:20	19,470	kuusi	46,34	53,7	7,713	2,14	
9.10.14	7:25	19,470	mänty	39,29	60,7	6,168	1,71	
13.10.14	7:20							
13.10.14	13:45							

Liite 3
1(2)

Tulo-päivä	Tulo-aika	lämpöarvo vedetön MJ/kg	Puulaji	2-Puristin Ka%	kosteus %	tehollinen lämpöarvo saapumis-tilassa MJ/kg	Energiamäärä MWh/tonni
14.11.13	7:25	19,470	mänty	39,4	60,6	6,192	1,72
18.11.13	7:15	19,470	mänty	37,66	62,3	5,811	1,61
21.11.13	7:20	19,470	kuusi	44,22	55,8	7,248	2,01
25.11.13	7:25	19,470	Kuusi	42,01	58,0	6,764	1,88
25.11.13	11:40						
28.11.13	7:15	19,470	mänty	42,94	57,1	6,968	1,94
28.11.13	11:00						
2.12.13	7:15	19,470	mänty	40,09	59,9	6,343	1,76
4.12.13	7:15	19,470	mänty	39,29	60,7	6,168	1,71
9.12.13	7:15	19,470	kuusi	43,32	56,7	7,051	1,96
10.12.13	9:00						
16.12.13	7:15	19,470	mänty	40,82	59,2	6,503	1,81
17.12.13	12:40						
19.12.13	7:20	19,470	kuusi	42,01	58,0	6,764	1,88
30.12.13	7:20	19,470	kuusi	45,72	54,3	7,577	2,10
31.12.13	12:00						
2.1.14	7:20	19,470	kuusi	40,39	59,6	6,409	1,78
7.1.14	7:20	19,470	mänty	37,47	62,5	5,769	1,60
7.1.14	13:10						
9.1.14	7:20	19,470	mänty	39,18	60,8	6,144	1,71
13.1.14	7:20	19,470	mänty	39,46	60,5	6,205	1,72
14.1.14	8:15						
16.1.14	7:20	19,470	kuusi	45,76	54,2	7,585	2,11
20.1.14	7:20	19,470	Mänty	30,34	69,7	4,207	1,17
21.1.14	8:20						
27.1.14	7:20	19,470	Mänty	41,76	58,2	6,709	1,86
28.1.14	12:40						
30.1.14	7:15	19,470	kuusi	42,64	57,4	6,902	1,92
3.2.14	7:15	19,470	mänty	41,37	58,6	6,624	1,84
3.2.14	12:30						
5.2.14	12:30	19,470	kuusi	44,61	55,4	7,333	2,04
10.2.14	7:15	19,470	mänty	40,68	59,3	6,472	1,80
10.2.14	12:45						
13.2.14	7:20	19,470	mänty	27,05	73,0	3,486	0,97
17.2.14	7:15	19,470	kuusi	44,44	55,6	7,296	2,03
17.2.14	10:15						
20.2.14	7:20	19,470	kuusi	42,83	57,2	6,943	1,93
24.2.14	7:15	19,470	mänty	38,98	61,0	6,100	1,69
24.2.14	10:00						
27.2.14	7:20	19,470	mänty	38,41	61,6	5,975	1,66
4.3.14	7:20	19,470	kuusi	32,3	67,7	4,636	1,29
4.3.14	7:25						
6.3.14	7:15	19,470	kuusi	45,34	54,7	7,493	2,08
6.3.14	8:50						
10.3.14	7:20	19,470	kuusi	34,56	65,4	5,131	1,43
10.3.14	7:25						
13.3.14	7:41	19,470	Mänty	37,95	62,1	5,874	1,63
17.3.14	7:20	19,470	mänty	39,41	60,6	6,194	1,72
20.3.14	7:15	19,470	kuusi	42,02	58,0	6,766	1,88
20.3.14	13:00						
24.3.14	7:15	19,470	mänty	38,43	61,6	5,979	1,66
27.3.14	7:15	19,470	mänty	43,29	56,7	7,044	1,96
31.3.14	7:25	19,470	Kuusi	38,37	61,6	5,966	1,66

Liite 3
2(2)

31.3.14	11:30							
3.4.14	7:25	19,470	Mänty	46,09	53,9	7,658	2,13	
7.4.14	7:20	19,470	kuusi	33,76	66,2	4,956	1,38	
10.4.14	7:20	19,470	kuusi	33,67	66,3	4,936	1,37	
14.4.14	7:15	19,470	kuusi	35,46	64,5	5,329	1,48	
14.4.14	11:30							
22.4.14	7:20	19,470	Kuusi	42,36	57,6	6,840	1,90	
24.4.14	7:20	19,470	Kuusi	45,95	54,1	7,627	2,12	
28.4.14	7:15	19,470	kuusi	43,54	56,5	7,099	1,97	
28.4.14	9:00							
30.4.14	6:20	19,470	kuusi	40,66	59,3	6,468	1,80	
5.5.14	7:25	19,470	mänty	41,01	59,0	6,545	1,82	
8.5.14	7:15	19,470	mänty	41,34	58,7	6,617	1,84	
8.5.14	12:45							
12.5.14	7:20	19,470	kuusi	37,57	62,4	5,791	1,61	
13.5.14	9:10							
15.5.14	7:20	19,470	kuusi	40,92	59,1	6,525	1,81	
19.5.14	7:25	19,470	Mänty	41,21	58,8	6,589	1,83	
22.5.14	7:20	19,470	mänty	41,9	58,1	6,740	1,87	
26.5.14	7:20	19,470	kuusi	47,85	52,2	8,043	2,23	
28.5.14	6:20	19,470	kuusi	43,02	57,0	6,985	1,94	
16.6.14	7:15	19,470	mänty	44,01	56,0	7,202	2,00	
17.6.14	17:00							
19.6.14	7:15	19,470	mänty	46,39	53,6	7,724	2,15	
23.6.14	8:20	19,470	kuusi	42,94	57,1	6,968	1,94	
23.6.14	8:25							
26.6.14	7:15	19,470	-	43,13	56,9	7,009	1,95	
26.6.14	9:30							
27.6.14	7:15	19,470	-	42,46	57,5	6,862	1,91	
30.6.14	7:15	19,470	-	39,85	60,2	6,291	1,75	
30.6.14	10:30							
2.7.14	7:15	19,470	-	38,49	61,5	5,993	1,66	
2.7.14	7:20	19,470	-	43,2	56,8	7,025	1,95	
7.7.14	7:15	19,470	mänty	37,67	62,3	5,813	1,61	
7.7.14	10:50							
10.7.14	7:20	19,470	-	43,41	56,6	7,071	1,96	
10.7.14	7:25							
14.7.14	9:20	19,470	mänty	40,97	59,0	6,536	1,82	
14.7.14	13:10							
17.7.14	7:15	19,470	mänty	42,85	57,2	6,948	1,93	
21.7.14	7:20	19,470	kuusi	47,31	52,7	7,925	2,20	
24.7.14	7:20	19,470	kuusi	46,56	53,4	7,761	2,16	
24.7.14	12:50							
28.7.14	7:20	19,470	mänty	43,9	56,1	7,178	1,99	
31.7.14	9:30	19,470	kuusi	45,43	54,6	7,513	2,09	
4.8.14	7:20	19,470	kuusi	48,19	51,8	8,118	2,25	
4.8.14	10:45							
7.8.14	7:20	19,470	mänty	44,05	56,0	7,211	2,00	
11.8.14	7:15	19,470	mänty	50,42	49,6	8,607	2,39	
11.8.14	13:50							
14.8.14	7:25	19,470	Mänty	43,27	56,7	7,040	1,96	
18.8.14	7:25							
18.8.14	9:20	19,470	mänty	43,42	56,6	7,073	1,96	
19.8.14	12:45							
21.8.14	7:15	19,470	mänty	44,33	55,7	7,272	2,02	
25.8.14	7:15	19,470	mänty	43,08	56,9	6,998	1,94	
25.8.14	9:30							
28.8.14	7:20	19,470	kuusi	41,18	58,8	6,582	1,83	
1.9.14	7:15	19,470	kuusi	43,44	56,6	7,077	1,97	
1.9.14	9:30							
8.9.14	9:20							
9.9.14	9:15	19,470	kuusi	45,71	54,3	7,575	2,10	
11.9.14	7:15	19,470	kuusi	47,49	52,5	7,965	2,21	
15.9.14	7:25							
18.9.14	7:20							
25.9.14	7:25							
29.9.14	7:25							
2.10.14	7:25	19,470	mänty	40,17	59,8	6,361	1,77	
6.10.14	7:20	19,470	kuusi	45,43	54,6	7,513	2,09	
9.10.14	7:25	19,470	mänty	40,97	59,0	6,536	1,82	
13.10.14	7:20	19,470	mänty	42,91	57,1	6,961	1,93	
13.10.14	13:45							