

Matilda Monthan

VAAHDONESTOAINEIDEN ANNOSTELUN OPTIMOINTI KUITULINJALLA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Biotuotetekniikan koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Matilda Monthan
Työn nimi	Vaahdonestoaineiden annostelun optimointi kuitulinjalla
Toimeksiantaja	Stora Enso Oyj
Vuosi	2022
Sivut	42 sivua
Työn ohjaaja(t)	Ritva Käyhkö (XAMK) ja Henrik Härkönen (Stora Enso)

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enson sellutehtaalla Varkaudessa. Työn tarkoituksena oli selvittää optimaalinen annosmäärä vaahdonestoainetta tietylle tuotantomäärälle. Vaahdonestoaineita käytetään sellunvalmistuksessa pesuvaiheessa, sillä keitossa massan joukkoon imeytynyt keittoneste, puussa olevat uuteaineet sekä ligniini aiheuttavat vaahtoamista sellun pesureissa ja varastointisäiliöissä. Vaahdonestoainetta annostellaan pesureihin ja säiliöihin, ja sen tehtävänä on estää ilmakuplien synty tai rikkoa jo syntyneiden ilmakuplien rakenne. Ilmakuplat heikentävät pesureiden toimintaa, sillä ne estävät pesunesteen vapaan virtauksen kuitujen läpi.

Varkaudessa on käytössä silikonipohjainen ja valkoöljypohjainen vaahdonestoaine, joista valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen käyttö halutaan minimoida. Yleisin ongelma vaahdonestoaineen annostelussa on se, että sen annosta lisäämällä korjataan prosessissa ilmeneviä ongelmia, mutta ongelman poistuttua sen määrää ei muisteta laskea. Liiallisella silikonipohjaisen aineen annostelulla on prosessia haittaavia vaikutuksia, sillä se voi muodostaa kasaumia, jotka tarttuvat pesureiden ja putkistojen pinnoille aiheuttaen likaantumista. Silikonipohjainen vaahdonestoaine kulkeutuu myös helposti lopputuotteeseen, mikäli se annostellaan liian myöhäisessä prosessin vaiheessa.

Työssä selvitettiin ensin alhaisin vaahdonestoaineen määrä 900 t/d-tuotannolle, mutta se kuitenkin keskeytyi Ukrainan sodasta seuranneiden Venäjäpakotteiden myötä. Uusi koeajo tehtiin 800 t/d-tuotannolla, jolla saatiin hyviä tuloksia vaahdonestoaineen määrän tiputtamisesta. Alkutilanteessa annostelu oli 330 g/Adt ja koeajon lopputuloksena oli 220 g/Adt. Samalla valkoöljypohjainen vaahdonestoaine jätettiin kokonaan pois ja käytettiin ainoastaan silikonipohjaista vaahdonestoainetta.

Asiasanat: vaahdonestoaine, kuitulinja, opinnäytetyö

Degree	Bachelor of engineering
Author (authors)	Matilda Monthan
Thesis title	Optimization of the dosing of defoamers on the fibre line
Commissioned by	Stora Enso Oyj
Time	April 2020
Pages	42 pages
Supervisor	Ritva Käyhkö (XAMK) and Henrik Härkönen (Stora Enso)

ABSTRACT

The thesis was done at Stora Enso's pulp mill in Varkaus. The purpose of the thesis was to find the optimal amount of defoamer for a specific production volume. Defoamers are used in pulp production in the washing step. Cooking chemicals and wood extractants are absorbed into the pulp during cooking and cause foaming in the pulp washers and storage tanks. The defoamer is dispensed into pulp washers and storage tanks. It can prevent the formation of air bubbles or break the structure of air bubbles that have already formed. Air bubbles impair the performance of the pulp washers because they prevent the free flow of washing liquid through the fibres.

Silicone-based defoamers and white oil-based defoamers are used in the Varkaus mill. The use of a white oil-based defoamer is desired to be minimized. The most common problem with the dosing of defoamers is that increasing their dosage corrects the problems in the process. Still, reducing the amount after the problem has disappeared is not remembered. Excessive dosing of the Silicone-based defoamer has process-detrimental effects. It can form agglomerates that adhere to the surfaces of pulp washers and piping lines and causing fouling. The silicone-based defoamer may end up easily in the final product if it is dosed too late in the process.

The first stage of the work was to determine the lowest amount of defoamers for 900 tons per day production, but it was interrupted by the sanctions imposed on Russia following the war in Ukraine. A new test run was made for the production of 800 tons per day, and that gave good results in decreasing the amount of defoamer. The initial dosing was 330 grams per air dry ton of pulp, and at the end of the test run, it was 220 grams per air dry ton of pulp. At the same time, the white oil-based defoamer was omitted entirely, and only a silicone-based defoamer was used.

Keywords: defoamer, fibre line, thesis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SELLUN VALMISTUS	6
3	KUITULINJA	7
3.1	Puunkäsittely	7
3.2	Keitto	9
3.3	Pesu	14
3.4	Lajittelu	18
3.5	Jälkikäsittely.....	22
4	VAAHDONESTO	25
4.1	Vaahdon synty	25
4.2	Vaahdotyypit.....	26
4.3	Ongelmat	26
4.4	Vaahtoamisen estäminen	27
4.5	Vaahdonestoaineet.....	27
4.6	Vaahdonestoaineen aiheuttamat ongelmat	28
5	VARKAUDEN TEHTAAN KUITULINJA	29
6	KOEAJO	30
6.1	Koeajosuunnitelma	31
6.2	Koeajojen tulokset	32
6.2.1	900 t/d-tuotannon koeajon tulokset.....	32
6.2.2	800 t/d-tuotannon koeajon tulokset.....	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
	LÄHTEET.....	41

1 JOHDANTO

Vaahdonestoainetta käytetään sellutehtailla pesuprosessien parantamiseen. Keitossa massaan lisätyt keittokemikaalit ja puusta irronneet uuteaineet aiheuttavat sellun pesuvaiheessa vaahtoamista, jota ehkäistään lisäämällä pesureiden pesunesteiden joukkoon vaahdonestoaineita. Vaahdonestoaineen tehtävänä on estää ilmakuplien syntyminen pesuprosessissa ja näin ollen ehkäistä vaahton syntymistä. Vaahdonestoaineita on useita erilaisia, mutta nykyään käytetyin on silikonipohjainen aine, sillä se on muita aineita tehokkaampi ja sitä tarvitaan vain noin 1/3–1/5 muihin aineisiin verrattuna. Vaahdonestoaineet ovat kalliita kemikaaleja, ja liiallisesti annosteltuina ne voivat kulkeutua lopputuotteeseen ja aiheuttaa ongelmia tuotteen jatkojalostuksessa. Kirjallisuusosassa käydään läpi kuitulinjan toimintaa ja vaahdonestoaineiden toimintaa ja käyttöä.

Yleensä vaahdonestoaineiden annostelussa on ongelmana tuotannossa tulevat heilahtelut, ei vaahdonestoaineen määrää muisteta muuttaa tuotantomäärän mukaan tai tilannetta korjataan lisäämällä vaahdonestoaineita. Esimerkiksi tuotannon laskiessa vaahdonestoainetta annostellaan edelleen suuremman tuotannon mukaan, mikä on todennäköisesti liian suuri määrä. Liiallisella vaahdonestoaineen annostelulla on haitallisia vaikutuksia prosessiin, sillä se voi muodostaa kuitunippujen ja muiden epäpuhtauksien kanssa kasaumia, jotka voivat tarttua laitteistojen pinnalle.

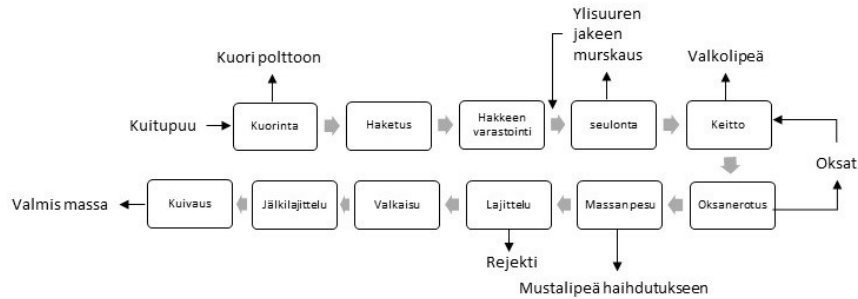
Työ tehdään Stora Enson sellutehtaalla Varkaudessa. Tehtaalla on käytössä silikonipohjainen sekä valkoöljypohjainen vaahdonestoaine. Työn tavoitteena on selvittää alhaisin vaahdonestoaineen määrä, jolla prosessi toimii. Työssä selvitetään myös, toimiiko prosessi ilman valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta, sillä sen käyttö halutaan lopettaa. Vaahdonestoaineen määrän optimoinnilla haetaan säästöjä kemikaalikustannuksiin. Työ toteutetaan suorittamalla koeajoja, joissa vaahdonestoaineen määrää lasketaan tasaisesti muuttaman tunnin välein ja seurataan sen vaikutusta DD-pesurin johtokykyyn ja GF-pesureiden kierrosnopeuksiin.

2 SELLUN VALMISTUS

Suomessa toimii 19 massatehdasta. Sellun vientimäärät Suomesta ovat olleet tasaisessa nousussa 2010-luvulla. Vuonna 2019 vientimäärät olivat jopa 4 150 tuhatta tonnia vuodessa ja niiden arvo oli 2 300 miljoonaa euroa. Suomessa tuotetusta sellusta yli puolet, eli 54 % viedään Aasiaan ja 28 % euro-maihin. (Metsäteollisuus ry 2018; Metsäteollisuus ry 2021a; Metsäteollisuus ry 2021b.)

Sellu on monikäyttöinen bioraaka-aine. Sellun valmistusprosessia kehitetään koko ajan, jotta vähemmällä raaka-aineiden sekä veden ja energian käytöllä pystyttäisi tuottamaan ympäristöystävällisiä tuotteita. Sellu on monipuolinen raaka-aine, siitä voidaan nykyään valmistaa lähes mitä vain. Massan valmistuksen yhteydessä syntyy sivuvirtoja, joista voidaan myös jatkojalostaa hyödyllisiä tuotteita kuten lannoitteita, biokomposiitteja, liimatuotteita, maaleja, biopellettejä ja vaikka mitä muuta. (Latokartano 2019; UPM s.a.)

Sulfaattikeitto on maailmanlaajuisesti käytetyin massan valmistuksen muoto. Sellutehdas koostuu kuitulinjasta ja talteenottolinjasta. Kuitulinjan tehtävänä on erilaisten prosessivaiheiden avulla muuttaa puu massaksi, jota voidaan käyttää esimerkiksi paperin tai kartongin raaka-aineena. Kuvassa 1 on kuvattu kuitulinjan toiminta lohkokaaaviona. Talteenottolinjan tehtävä on ottaa talteen ja kierrättää kalliita natriumyhdisteitä, joita sellun keitossa käytetään sekä tuottaa energiaa polttamalla mustalipeän sisältämä orgaaninen aines. (KnowPulp 2022.)



Kuva 1. Kuitulinjan lohkokaavio (Isotalo 2004, 63)

3 KUITULINJA

3.1 Puunkäsittely

Puut saapuvat tehtaalle yleensä kuorimattomina, noin 2–3 metrin pituisina tai 2–6 metrin vapaamittaisina rankoina. Puut kuljetetaan tehtaalle joko rekoilla tai junalla, ja ne puretaan pyöräkuormaajan avulla joko suoraan prosessiin tai varastoon. Kesällä puut tulevat käyttää maksimissaan kuukauden sisällä puun kaatamisesta. Puut varastoidaan lajikkeiden mukaan ja tarkoituksena on syöttää ne mahdollisimman tuoreena prosessiin. Mikäli puita tarvitsee varastoida esimerkiksi kesällä, tulee puun kuivumista ehkäistä kastelemalla. Liiallisella kastelulla voidaan aiheuttaa vahinkoa, kuten värivaurioita. (Fardim 2011, 92; KnowPulp 2022.)

Talvella puut tulee sulattaa ennen kuorintaan. Puun kuorikerros sulatetaan ennen kuorimarumpua olevalla syöttökuljettimella. Sulatukseen käytetään vettä ja matalapainehöyryä, mutta höyrysulatus ei ole käytössä Suomessa. Sulatuksessa käytetty vesi huuhtoo myös epäpuhtaudet puun pinnalta. (KnowPulp 2022.)

Puun kuorinta on tärkeä osa massan valmistusprosessia. Puun kuori sisältää vain vähän massan valmistukseen soveltuvia kuituja. Kuori sisältää usein myös roskia, jotka haittaavat prosessia, se kuluttaa myös kemikaaleja keittovaiheessa ja mahdollisessa valkaisussa. Havupuun puuaineksesta noin 12–15 % on kuorta ja koivussa noin 15 %. Kuori irtoaa parhaiten märästä ja tuoreesta puusta, minkä vuoksi pitkät varastointiajat eivät ole suositeltuja puun

kuivumisen vuoksi. Havupuun kuori irtoaa helpommin kuin koivun. Puut syötetään kuljettimelle suoraan kuljetuksesta tai varastosta, jota pitkin ne kulkevat suoraan kuorimarumpuun. (Seppälä ym. 1999, 24.)

Rumpukuorinnassa kuorinta perustuu hankaukseen. Puuta syötetään rumppuun suuria määriä ja jatkuvana virtana. Rummussa puut hankautuvat toisiinsa sekä rummun seinämiä vasten, minkä seurauksena puun ja kuoren välissä oleva jälsikerros rikkoutuu ja irtoaa. Rummun halkaisija on 4–6 metriä ja pituus 20–40 metriä. Rummun nopeus voi olla 1,5–2 m/s, mikä tarkoittaa viisi metriä pitkällä rummulla 5,7–7,6 kierrosta minuutissa. Rummussa on aukkoja, joiden kautta kuorenpalat putoavat rummun alla olevalle kuljettimelle, joka vie kuoren kuorenkäsittelyyn. Kuorinta voi tapahtua joko ilman vettä tai veden kanssa. Vettä on mahdollista lisätä vain rummun alkupäähän. Rumpukuorinnassa syntyvät puuhäviöt ovat noin 1–3 %. Suuremmat häviöt ovat mahdollisia riippuen esimerkiksi kuorittavan puun laadusta, rummun täyttöasteesta- tai kierrosluvusta. (Fardim 2011, 101-106; Seppälä ym. 1999, 24.)

Rummun toimintaan vaikuttaa rummun läpimitta, kierrosluku ja täyttöaste. Mitä paremmin puut hankautuvat toisiaan vasten, sitä tehokkaampaa kuorinta on. Puun kuoriutumisasetta säädetään kierroslukua muuttamalla. Mitä suurempi kierrosluku, sitä enemmän puu tekee kuorintakierroksia rummussa. Pyörimisnopeus säädetään niin, että puut liikkuvat tasaisena massana. Rummusta puut siirtyvät purkauskuljetinta pitkin pesulinjalle ja kiviloukuille, jossa puut puhdistetaan lopullisesti. (Seppälä ym. 1999, 24.)

Rummussa irronnut kuori putoaa rummun alla olevalle kuljettimelle, josta kuori siirretään saostuskuljettimelle. Saostuskuljetin jaetaan karkea- ja hienosaostimiin. Saostimen pohjana on reikälevy, josta vesi pääsee poistumaan kiertovesijärjestelmään ja kuljetin siirtää kuorta seuraavaan vaiheeseen. Karkeasaostimen pohjan reikäkoko on 8 mm ja hienosaostimen 2–3 mm. Vedenerotuksen jälkeen kuorijakeesta erotetaan karkeasta aineksesta hienoaines. Erottelussa saadaan poistettua myös hienoa kiviainesta. Kuorenpalat revitään tai murskaataan ennen puristamista, sillä esimerkiksi kuusen kuorenpalat voivat olla niin pitkiä, että niiden puristaminen ei onnistu. Puristuksessa kuoresta poistetaan vettä. Havupuilla kuiva-ainepitoisuus kuorintatavasta riippuen on joko noin 20 % tai 30–35 % ja puristuksen jälkeen se saadaan noin 41–45 % tasolle.

Puristuksen jälkeen kuori siirretään kuljettimia pitkin varastoon kuorikasaan tai suoraan polttoon höyrykattilaan. (Seppälä ym. 1999, 27–29.)

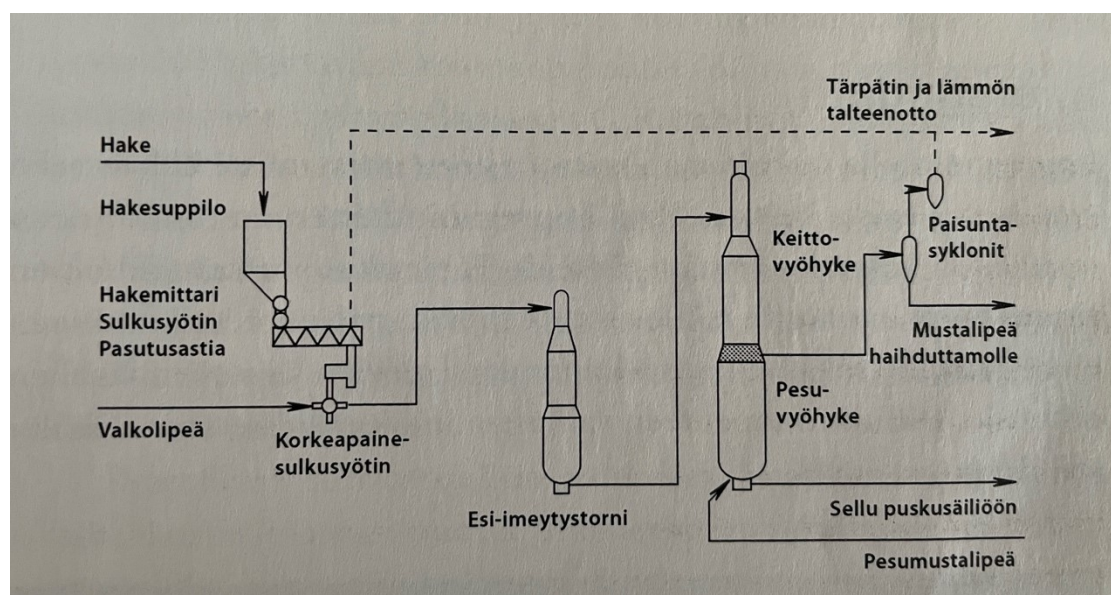
Kuoritut puut täytyy hakettaa pieniksi paloiksi, jotta keittokemikaalit saadaan imeytymään puuhun tasaisesti ja tehokkaasti. Lastun paksuus on tärkein mitta haketuksessa. Mitä paksumpia hakepalat ovat, sitä huonommin kemikaalit imeytyvät siihen ja näin ollen huonontavat esimerkiksi massasta valmistetun tuotteen lujuusominaisuuksia ja saantoa. Hakepalojen tulisi olla myös tasapaksuisia, jotta keittovaiheessa lastut saataisi samaan kappalukuun, eikä synnyisi häviöitä. Havupuun hakekoko on yleensä suurempi kuin lehtipuun, sillä siinä on pidemmät kuidut. Havupuusta tehdyn hakkeen pituus noin 25 mm ja paksuus 4 mm.

Jotta prosessiin saadaan mahdollisimman tasalaatuisia hakepaloja, on haketuksen jälkeen seulottava liian suuret ja pienet hakepalat pois. Ylisuuret jakeet palautetaan takaisin haketukseen ja liian paksut jakeet siirretään litistäviin mankeleihin. Oikeankokoiset lastut siirretään keittimeen vuo- tai eräkeittoon. Yleisimmin käytössä oleva tasoseula koostuu kolmesta reikälevystä, jotka pyörivät ympyräliikettä vaakatasossa epäkeskokoneiston avulla. Hake syötetään tasaisena virtana seulaan, josta hyväksytyt jakeet menee läpi ja ei hyväksytyt jakeet uudelleen prosessoitaviksi. (Fardim 2011, 124; Seppälä ym. 1999, 34.)

Hake voidaan varastoida ulkona korkeana kekona tai siiloissa. Ulkona varastoitaessa on otettava huomioon, että hakekasa lämpenee melko nopeasti noin 1–2 astetta vuorokaudessa. Kesällä kasan sisäosat voivat olla jopa 65–70 asteisia ja talvella 50 astetta. Mikäli haketta säilötään pitkään, voi lämpötila nousta syttymispisteeseen. Lämpeneminen johtuu pieneliöstön toiminnasta ja se aiheuttaa suurimmat ainehäviöt. Lämpötilan noustessa korkeaksi ne kuolevat. Toiseksi suurin ainehäviöiden aiheuttaja on hapettuminen. Pitkä varastointiaika ja lämpötila vähentävät sivutuotteiden saantoa. Jo pari varastointikuukautta vähentää mäntyöljyn ja tärpätin saantoa. (Seppälä ym. 1999, 35.)

3.2 Keitto

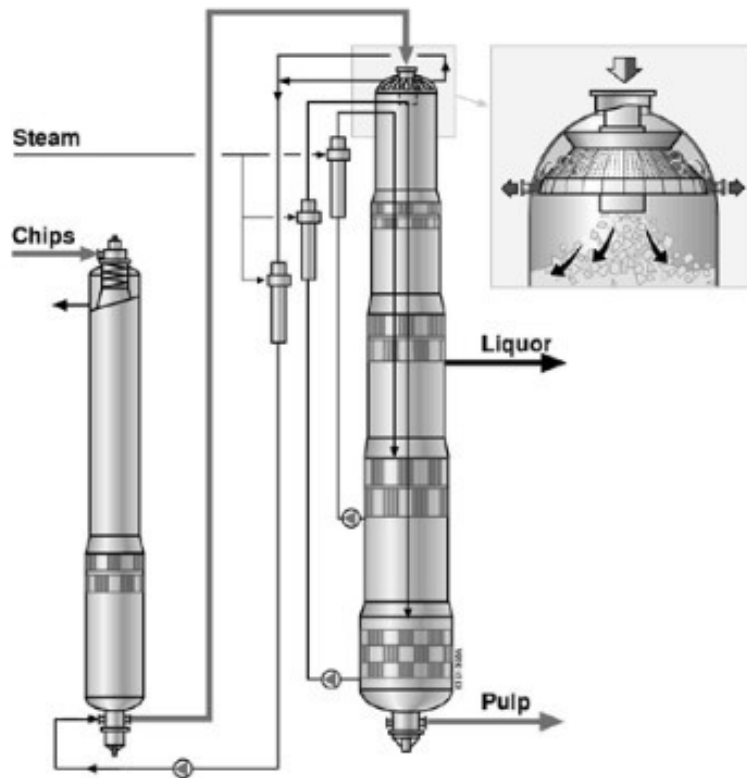
Keiton tarkoituksena on poistaa kuituja yhteen sitova ligniini ja puussa olevia uuteaineita. Keitossa käytetään voimakkaasti alkalista liuosta eli valkolipeä. Valkolipeä koostuu natriumhydroksidista (NaOH) ja natriumsulfidista (Na₂S). Natriumhydroksidin tehtävänä on pilkkoa ligniiniä, natriumsulfidin tehtävänä on nopeuttaa keittoreaktiota ja vähentää selluloosan liukenemistä. Keitto- ja lämpötila määräytyvät halutun ligniinipitoisuuden eli kappaluvun mukaan. Keittolämpötila on noin 150–170 astetta ja haluttu kappaluku valkaisemattomalla massalla on noin 40–100. Keittotapoja on kaksi, joko eräkeitto tai jatkuvatoiminen vuokeitto. Keitossa syntyvä mustalipeä erotetaan massasta ja pumpataan talteenottolinjalle, jossa siitä valmistetaan valkolipeä. Keitossa saadaan sivutuotteina myös raakatärpättiä ja raakasuopaa, joista valmistetaan tärpättiä ja mäntyöljyä. Lisäksi keitosta vapautuu energiaa, joka otetaan talteen ja käytetään lämpöenergiana. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 75.)



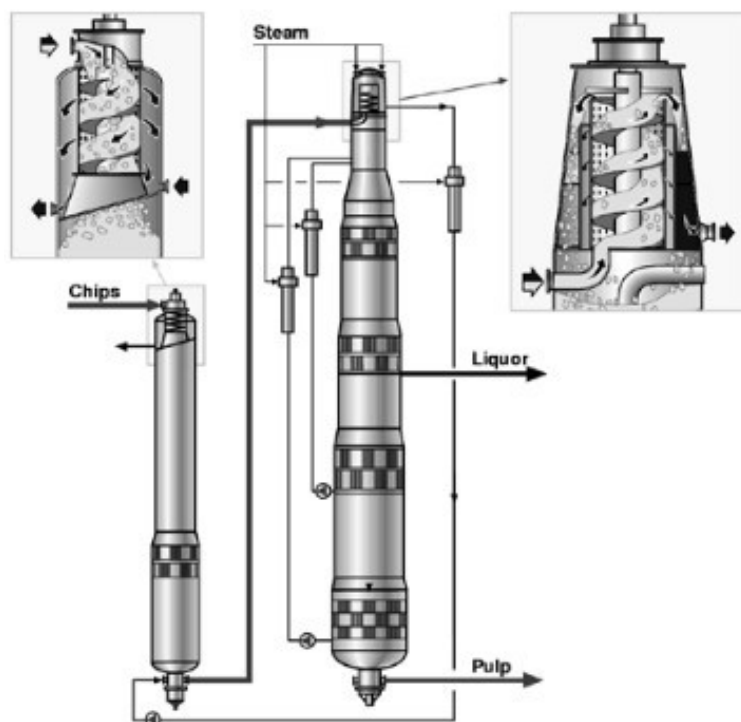
Kuva 2. Vuokeitin esi-imeytyksellä (Isotalo 2004, 63)

Eräkeitossa keitto tapahtuu useissa eri keittimissä vaihe kerrallaan ja vuokeitossa on yksi keitin, joka on jaettu vyöhykkeisiin eri keiton vaiheita varten. Vuokeitossa haketta sekä kemikaaleja syötetään keittimen yläpäästä jatkuvana virtana ja valmis massa poistetaan keittimen alapäästä. Vuokeitossa keittokemikaalien imeytys voi tapahtua erillisessä imeytystornissa tai keittimen yläosassa. Kuvassa on 2 esitetty vuokeitin erillisellä imeyttimellä. Erilaisia keittimiä ja keittotapoja on useita erilaisia. Hydraulisessa vuokeittimessa keitto

tapahtuu hydraulisen paineen avulla. Keitin on täynnä nestettä ja keittimen huipussa oleva ruuvi painaa haketta nestepinnan alle. Höyry-nestefaasikeittimessä hake lämmitetään höyryn avulla lähelle keittolämpötilaa keittimen huipussa. Keitin ei ole täynnä nestettä. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty keittimien rakenteet. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 87.)



Kuva 3. Hydraulinen kaksiastiakeitin (Fardim 2011, 341)



Kuva 4. Kaksiastia höyry-nestefaasikeitin (Fardim 2011, 431)

Keittoprosessi alkaa hakkeen siirrolla kasoista syöttösiiloon. Syöttösiiloon mahtuu noin 10–20 minuutin ajon verran haketta. Hake esilämmitetään siilossa paisuntahöyryllä tai tuorehöyryllä. Siilosta hake siirtyy hakemittariin, joka on kierroslukusäätöinen. Keittimen tuotannon määrä määräytyy hakemittarin kierrosnopeuden mukaan. Siilosta hake siirtyy matalapainekiikkiin, joka estää hakkeen putoamisen suoraan pasutusastiaan. Pasutuksen tarkoituksena on poistaa hakkeesta ilmaa ja samalla lämmittää haketta. Pasutusastiaan syötetään pohjan kautta matalapainetuorehöyryä tai paisunnasta saatavaa höyryä. Pasutusastian paine on 1–1,5 bar:a. Pasutuksesta syntyvät kaasut ja ilma poistetaan hajukaasujen käsittelyyn. Pasutuksesta hake siirtyy ruuvin avulla romunerotukseen, jossa raskaat partikkelit painuvat romuloukun pohjaan. Kaksiastiakeittimen imeytystornissa hake ja lipeä kulkevat myötävirtaan. Imeytystornissa on sama paine kuin keittimessä ja tämä yhdessä pasutuksen kanssa mahdollistaa lipeän hyvän imeytymisen hakkeeseen. Lämpötila tornissa on noin 100–135°C astetta. Lipeän imeytyessä hakkeeseen hake vajoaa nestepinnan alle. Viipymäaika imeytystornissa on noin 30–45 minuuttia. Imeytys voidaan tehdä valko- ja mustalipeällä tai pelkästään valkolipeällä.

Hake puretaan imeytystornin alaosaan pohjakaavarin avulla ja siirretään keittimen yläosaan. Yksiastiakeittimessä imeytys tapahtuu keittimen yläosassa. Imeytyksen lämpötila on sama kuin kaksiaastiakeittimessä, mutta viipymäaika on hiukan lyhyempi eli noin 30–40 minuuttia. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 88–89.)

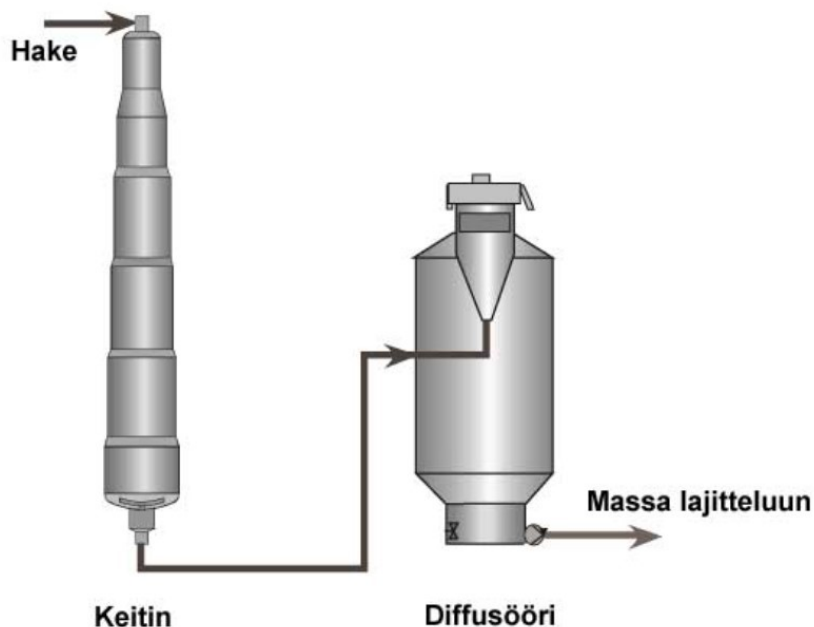
Yksiastiakeittimessä keittovyöhyke alkaa heti imeytyksen jälkeen. Kaksiaastiakeittimessä hake putoaa suoraan keittovyöhykkeeseen keittimen yläosasta. Hydraulisessa keitossa lämpötilaa säädellään lämmönsiirtimien avulla, jotka sijaitsevat lipeäkierrossa. Höyry-nestefaasikeitossa lämpötilaa säädellään suoralla höyryllä. Paine keittimessä on 7–8 bar. Keittolämpötilaa säädellään tasoituskierron avulla. Tasoituskierron jälkeen alkaa keittovyöhyke, jossa hake viipyy noin 60 minuuttia. Keittovyöhykkeen lämpötila on 150–170 °C astetta. Keittovyöhyke loppuu paisuntasiihtehin, jossa keittovaiheessa käytetty kuuma lipeä syrjäytetään pesuvyöhykkeen syrjäytyslipeällä, jonka lämpötila on 130–140°C. Massa poistetaan keittimestä pohjassa olevan kaavarin avulla. Keittimestä massa siirtyy säteis- tai painediffusööriin. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 89–90.)

Säteispesuri eli atmosfäärinen pesudiffusööri toimii keskisakeudella, jolloin massaa ei tarvitse laimentaa keiton jälkeen ja näin voidaan säästää myös energiaa. Säteispesuri pesee massan tehokkaasti ja sen energiankulutus on matala. Säteispesuri on yksinkertainen käyttää. Massa pumpataan keittimestä suoraan pesuriin, minkä vuoksi ilmaa ei pääse prosessiin ja näin ollen voidaan estää hajukaasujen ja vaahdon synty. Säteispesuri voi olla joko yksivaiheinen pesuri, jossa on yksi tai kaksi sihtipakettia, tai kaksivaiheinen, jossa on kaksi sihtipakettia. (Fardim 2011, 408; Ylitapio 2017, 30.)

Massa syötetään diffusööriin sen kartiomaisen pohjan kautta. Kuvassa 5 on esitetty massan syöttö keittimestä diffusööriin. Massa kulkee pesurissa ylöspäin sihtirenkaiden väliin. Sihtirenkaiden välissä on suuttimia, joiden kautta pesunestettä syötetään massan joukkoon. Massan viipymäaika pesuvyöhykkeessä on noin 5–7 minuuttia. Syrjäytetty pesuneste kerätään sihtirenkaiden läpi suodossäiliöön. Kaksivaiheisessa kaksoissihtipesurissa pesuneste johdetaan ensin toisen vaiheen puhtaampaan massaan. Suodossäiliöön kerätty pesuneste käytetään uudelleen ensimmäisen vaiheen massan pesuun.

Sihtipaketti liikkuu pesun aikana ylös ja alas pesurin sisällä. Massa poistetaan pesurin yläpäästä poistoputkeen kaavarin avulla. (Seppälä ym. 1999, 103.)

Painediffusööri toimii paineen alaisena ja suljettuna. Massa syötetään pesuriin pohjan kautta 10–12 %:n sakeudessa. Massa liikkuu säiliössä, jossa on sylinterimäinen sihti, joka liikkuu ylöspäin noin 500 mm. Sihti lasketaan nopeasti alas, jolloin sihti puhdistuu ja uutta massaa voidaan syöttää pesuriin. Pesurin ulkoseinämässä on putkisto, josta syötetään pesunestettä koko pesurin alueelle. Pesuneste syrjäyttää mustalipeän sihtiosan läpi. Puhdas massa poistetaan pesurista sen yläosasta. (Seppälä ym. 1999, 92.)



Kuva 5. Diffusööri (KnowPulp 2022)

3.3 Pesu

Massan pesun tarkoituksena on poistaa keitossa syntynyt jäteliemi, joka sisältää keiton seurauksena liuennutta puuainesta ja keittokemikaaleja. Jäteliemen talteenotto on tärkeää, sillä se sisältää uudelleen käytettäviä kemikaaleja ja liuennutta ainesta, jota voidaan käyttää energian tuottamiseen. Jäteliemi sisältää myös ympäristölle haitallisia aineita, jotka täytyy poistaa. Massan pesu on myös välttämätöntä seuraavien prosessivaiheiden kannalta. Ensimmäinen pesuvaihe on yleensä keittimessä heti keiton jälkeen ja sitä kutsutaan keitinpesuksi. Pesulaitteistoja ja tapoja on useita erilaisia. Jäteliemi on massassa joko kuitujen pinnalla ja kuitukimppuihin sitoutuneena tai vapaana kuitujen

ympärillä. Vapaana oleva jäteliemi on helpompi poistaa massan joukosta kuin kuituihin sitoutunut, sen poistamiseen on kaksi erilaista tapaa joko syrjäytyspesu tai laimennus-sakeutuspesu. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 101.)

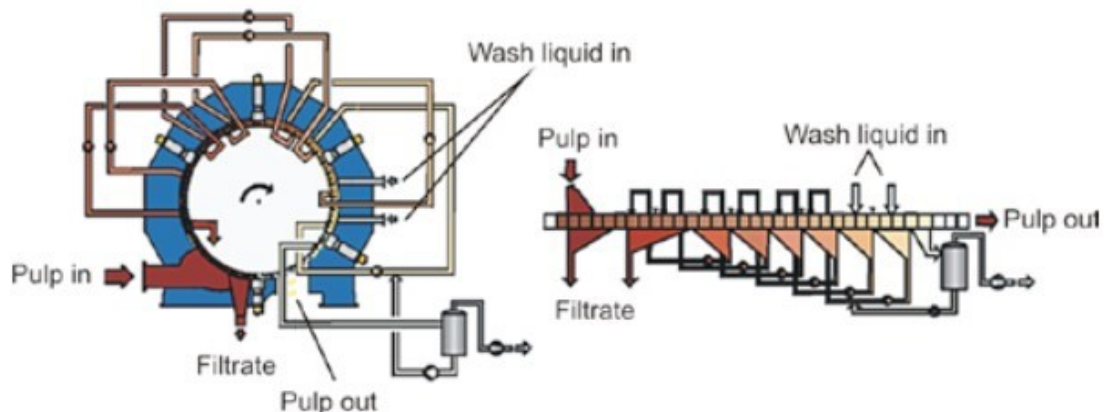
Syrjäytyspesussa puhdas pesuvesi syrjäyttää massassa olevan likaisen nesteen, kun se johdetaan massasulpun läpi. Esimerkiksi diffusöörit ja pesusaostimet toimivat tällä periaatteella. Laimennus-sakeutuspesussa massa laimennetaan ensin puhtaalla pesunesteellä ja sen jälkeen se saostetaan. Tämän tarkoituksena on vähentää massan väkevyyttä. Tällä periaatteella toimivat esimerkiksi pesupuristimet. (Seppälä ym. 1999, 101–102.)

Pesusuotimet toimivat paineen avulla, massassa oleva neste poistetaan suodattimen reikien läpi joko paineella tai imulla. Suotimet voivat olla joko rumpuja tai tasopesureita, mutta rumpupesurit ovat yleisempiä. Pesusuotimessa oleva rumpu on päällystetty joko viiralla tai reikälevyllä. Massaa pumpataan pyörivän rummun pinnalle 1–10 %:n sakeudessa, jolloin rummun pinnalle syntyy massakerros. Neste poistuu massasta viiran tai reikälevyn läpi rummun sisälle paine-eron vaikutuksesta. Neste poistetaan rummun päästä. Pesunestettä suihkutetaan tasaisesti massaradan päälle, paine-eron johdosta pesuneste syrjäyttää massassa olevan likaisen nesteen. Pesusuodin jaetaan vyöhykkeisiin, jolloin voidaan käyttää eri vahvuisia pesunesteitä ja puhdasta vettä massan puhdistukseen. Painesuotimista yleisin pesuri on DD-pesuri, jonka nimi tulee sanoista Drum Displacer. (Seppälä ym. 1999, 104.)

DD-pesurit voidaan jakaa matalasakeuksisiin pesureihin (low consistency) sekä keskisakeuksisiin pesureihin (medium consistency). Matalasakeuksiseen pesuriin massa syötetään 3–6 %:n sakeudessa ja keskisakeuksiseen 8–11 %:n sakeudessa. Matalasakeuksinen pesuri voidaan sijoittaa oksanerotuksen jälkeen, keskisakeuksinen pesuri voidaan sijoittaa laajemmalle alueelle. Pesuri koostuu reikälevyrummista, joka on jaettu lokeroihin. Rumpua ympäröi vaippa, jossa on kiinni tiiviste-elementit, jotka yhdessä jakolistojen kanssa erottavat eri pesuvyöhykkeet toisistaan. Rummun päissä tai päässä on jakoventtiilit, joiden avulla estetään suodosten sekoittuminen eri pesuvaiheiden

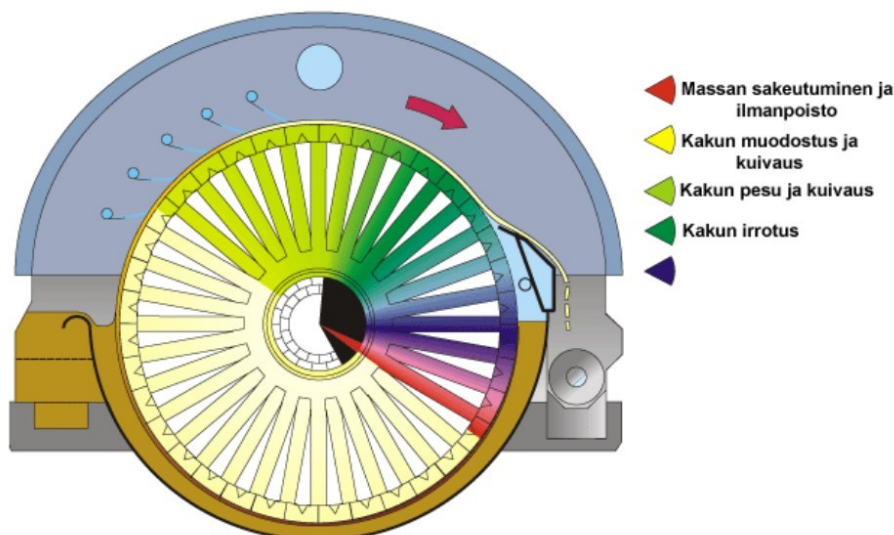
välillä. Massa syötetään pesuriin syöttövyöhykkeeltä ja poistetaan purkuvyöhykkeeltä purkuruovin avulla. (Fardim 2011, 420; Seppälä ym. 1999, 104.)

Massa syötetään pesuriin 10–50 kPa:n paineessa. Massa täyttää rummun pinnalla olevat listoilla rajatut lokerot ja samaan aikaan neste suotautuu reikälevyn läpi. Massalevyistä saadaan tasaisen paksuja tiivistyslistojen avulla, sillä ne pyyhkivät ylimääräiset massat pois lokeroista. Pesurissa on 1–4 vastavirta-periaatteella toimivaa syrjäytyspesua eli puhtaamman vaiheen suodosneste syrjäyttää edellisen vaiheen massakakusta tulleen likaisemman nesteen. Pesuneste johdetaan aina puhtaammasta vaiheesta likaisempaan niin, että viimeisellä pesuvyöhykkeellä käytetään mahdollisimman puhdasta prosessivettä. Kuvassa 6 on kuvattu DD-pesurin toimintaa. Massakakku poistetaan poistovyöhykkeellä rummun pinnasta paineilman avulla ja siirretään purkuruovin avulla eteenpäin prosessissa. (Seppälä ym. 1999, 104–105.)



Kuva 6. DD-pesuri (Fardim 2011, 421)

Imusuodinten käytetyin malli on GF-suodin. Suotimen nimi tulee sanoista Gas Free eli kaasuvapaa. GF-suotimen etuna on siinä oleva kaasuton venttiili, jonka vuoksi suodoksen sekaan pääsee muihin suotimiin verrattuna paljon vähemmän ilmaa ja näin ollen vähentää häiriöitä prosessissa. Rummun sisällä ei myöskään ole putkistoa, jonka vuoksi sen kunnossapito on helpompaa. GF-suodin sopii niin ruskean kuin valkaistunkin massan pesuun. Kuvassa 7 on kuvattuna GF-pesurin pesuvaiheet. (Seppälä ym. 1999, 105.)



Kuva 7. GF-suodin (KnowPulp 2022)

Massa syötetään syöttöputkistoa pitkin suotimen syöttöaltaaseen 0,7–2 %:n sakeudessa. Massa syötetään altaaseen tasaisesti ylikaatokynnyksen yli. Rummun ulkokuori on valmistettu reikälevystä ja sen päällä on joko muovi- tai metalliviira. Imuputket sijaitsevat rummun päissä, joten rumpu on sisältä avoin. Suotimen toiminta alkaa, kun rummun vaipassa olevat solat uppoavat nestepinnan alapuolelle ja käynnistävät ilmanpoistovaiheen. Hydrostaattinen paine täyttää solat suodoksella, jolloin imuputkiin ja soliin jäänyt ilma syrjäytyy ja poistuvat huuven hönkätilaan. Putkistoon jäänyt ilma ja suodos muodostavat esisuodoksen, joka poistuu suodossäiliöön. Ilman erotus on eristetty imuvyöhykkeestä venttiilien avulla. Imuvaihe alkaa, kun solat saavuttavat imuvyöhykkeen. Imu saadaan aikaan imujalan avulla.

Pesuvaihe alkaa, kun massarata on noussut nestepinnan yläpuolelle ja suihkuputkista tuleva pesuneste syrjäyttää massassa olevan likaisen nesteen. Pesuvaiheen jälkeen rata kuivataan imemällä nestettä imujalkaan. Ennen kuin rata poistuu suotimesta, se irrotetaan puhaltamalla ilmaa radan alle. Kun suodin on tyhjä, viiraosa pestään korkeapainevesisuihkulla. (Seppälä ym. 1999, 105.)

Massan pesua seurataan erilaisten mittausten avulla. Johtokykymittauksen avulla voidaan mitata massan väkevyyttä. Johtokykymittauksesta saatavalla arvolla ja sen muutoksilla voidaan seurata pesun tilaa ja sitä, kuinka se kehittyy. Johtokykyyn vaikuttaa esimerkiksi keittokappaluku ja keiton alkaliannos.

Lisäksi massasta seurataan COD-arvoa (Chemical oxygen demand), joka tarkoittaa massassa olevan nesteen kemiallista hapenkulutusta. Tämä voidaan testata lisäämällä massasta otettuun suodokseen hapettavaa kemikaalia ja tämän jälkeen mitataan sen kulutus. (KnowPulp 2022.)

Pesun onnistumista tarkkaillaan COD-pesuhäviön lisäksi natriumpesuhäviön avulla. Siinä massan joukossa olevasta nesteestä mitataan pesun jälkeen jäänyttä natriumin määrää Na_2SO_4 / Bdt, (Bone dry ton) eli sitä, kuinka paljon absoluuttisen kuivassa sellutonnissa on natriumia. Natriumpesuhäviö ei ota huomioon ligniiniä ja muita orgaanisia aineita, joita massan joukossa on pesun jälkeen. Natrium absorboituu helposti selluloosan pintaan, jolloin pesuhäviön mittaaminen vaikeutuu. Natrium- ja COD-pesuhäviöt ovat tehtaassa yleensä melko vakiot, joten toisen pesuhäviön tuloksen perusteella tiedetään melko tarkkaan myös toinen. Mikäli prosessissa jokin muuttuu, kuten kemikaalien annostus, niin pesuhäviöiden suhde voi muuttua. (KnowPulp 2022; Ylitapio 2017, 20.)

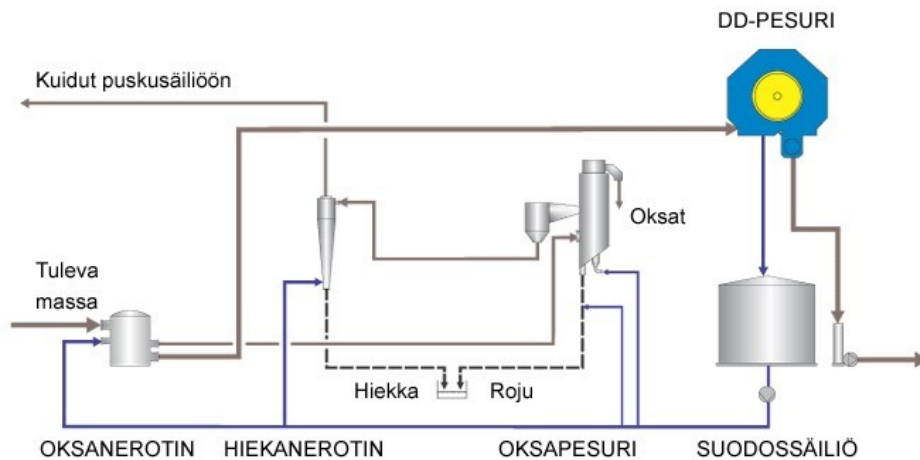
Näytteet tulisi ottaa massasta aina prosessin ollessa normaalissa tilanteessa, jotta mittauksiin ei tule heittoja prosessin epävakaisuuden takia. Pesurista otettaessa näyte tulee ottaa kohdasta, jossa rata on paksuudeltaan tasainen, jotta sakeus- ja pitoisuuseroilta vältyttäisiin. Näyte tulisi myös ottaa aina samalla tavalla, jotta siitä ei aiheutuisi heittoja tuloksiin. Näytteenoton ja pesuhäviömittauksen välillä ei saa olla pitkää viivettä, sillä uuttumisilmiön vuoksi voi tulla heittoja mittauksiin. (KnowPulp 2022.)

3.4 Lajittelu

Keitosta tullut massa sisältää epäpuhtauksia ja muita ei toivottuja aineita, jotka täytyy poistaa massan joukosta, jotta se olisi tarpeeksi puhdasta ja lopputuotteen laatu hyvää. Massan joukossa voi olla esimerkiksi keittymättömiä hakepaloja, kuorta, kiviä ja metallia. Lajittelun tarkoituksena on erotella massan joukosta kaikki sinne kuulumaton aines ja palauttaa esimerkiksi keittymättömät hakepalat takaisin keittoon. (Fardim 2011, 428.)

Epäpuhtauksia poistetaan pääasiallisesti lajittamossa, mutta roskien erotusta tapahtuu myös muissa prosessin vaiheissa. Lajittamon laitteet voidaan

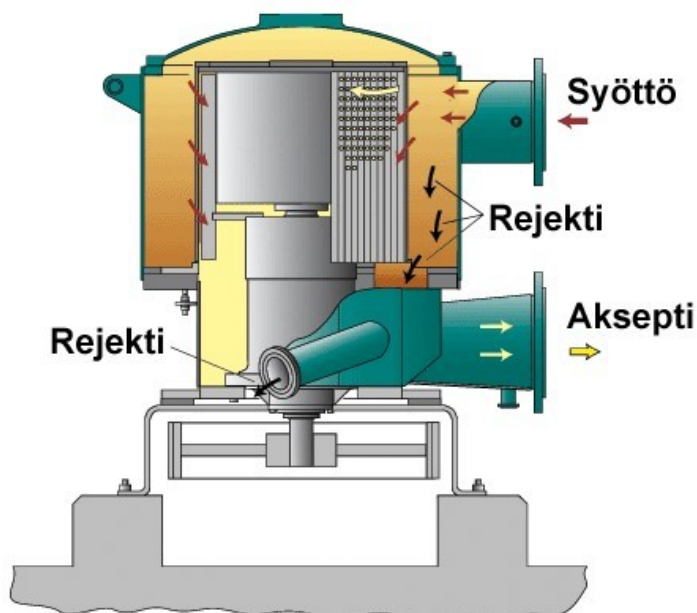
rakentaa kahden pääperiaatteen mukaan, jotka ovat sihtipuhdistus tai pyörrepuhdistus. Sihtipuhdistuksessa kuidut läpäisevät joko reiälliset tai raolliset sihtilevyt ja roskat jäävät niiden pinnalle. Pyörrepuhdistuksessa roskat erotetaan kuiduista keskipakovoiman ja virtausvastusten avulla. Pyörrepuhdistus perustuu siihen, että erotettavat osat ovat painavampia tai erimuotoisia kuin kuidut. Lajittimeen syötetyt massavirta jaetaan akseptiin ja rejektiin, jossa aksepti on hyväksytyjä jakeita eli kuituja ja rejekti ei-hyväksytyjä jakeita eli roskia. Lajitin ei pysty kuitenkaan täysin varmasti erottamaan kaikkia epäpuhtauksia, vaan kuituja pääsee rejektin mukana poistoon ja rejektiä hyvien kuitujen joukkoon. Lajittelu jaetaan oksanerotukseen, hienolajitteluun ja rejektin lajitteluun. Lajittimen toimintaan vaikuttaa epäpuhtauksien fysikaaliset ominaisuudet, syöttömassan ominaisuudet, lajittimen olosuhteet, syöttösakeus- ja virta, paine-ero, rejektin määrä sekä lajittimen toimintaperiaate ja rakenne. Kuvassa 8 on esitetty oksanerotuksen sijainti kuitulinjalla. (Fardim 2011, 431; Seppälä ym. 1999, 112–113.)



Kuva 8. Oksanerotus (KnowPulp 2022)

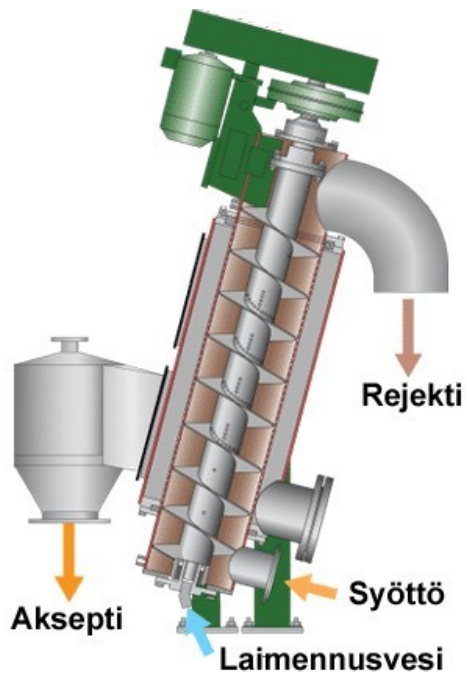
Oksanerotus tapahtuu joko ennen ensimmäistä pesuvaihetta tai niiden välissä. Oksanerotukseen kuuluu myös oksapesurit. Oksanerottimesta tuleva rejekti ohjataan oksapesuriin, jotta saadaan mahdollisimman paljon akseptikuituja takaisin massavirtaan. Oksanerotus on ensimmäinen ja helpoin lajittelun vaihe, sillä oksat ovat suurempia kuin lajittimessa olevat reiät, joten rejekti ei läpäise niitä. Oksanerotuksessa on ongelmana hyvien kuitujen poistuminen rejektin mukana. (KnowPulp 2022; Fardim 2011, 437.)

Massa siirretään suljettuun oksanerottimeen 3–4 %:n sakeudessa. Rejeki-suhde eli rejektin määrä suhteessa oksanerottimeen syötettyyn massavirtaan on noin 3–8 %. Erottimesta saatu rejekti laimennetaan 0,8–1,2 %:n sakeuteen ennen oksapesurille syöttöä. Oksanerottimet ovat painelajittimia, joissa on sihtirummut ja puhdistussiivekkeet. Niiden toimintasakeus on korkea, jotta kulut saadaan mataliksi. Kuvassa 9 on esitetty oksanerottimen rakenne.



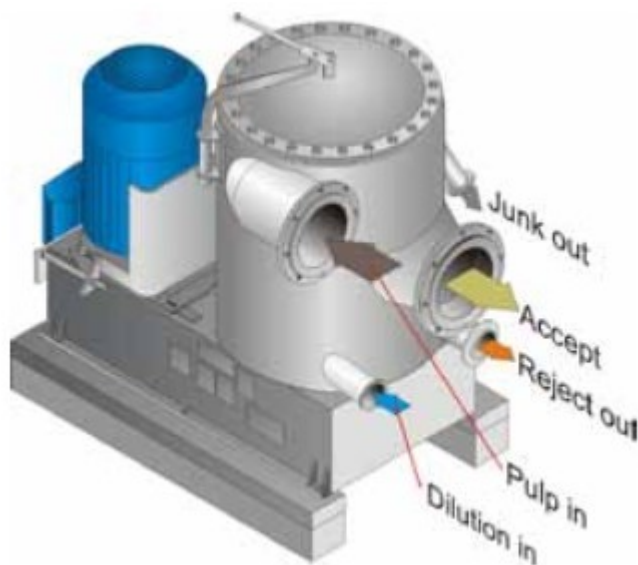
Kuva 9. Oksanerotin (KnowPulp 2022)

Oksapesurin tavoitteena on pestä rejektistä akseptikuidut pois ja palauttaa ne takaisin massavirtaan. Massa syötetään pesuriin sen alaosasta. Kuvassa 10 on esitetty oksapesurin rakenne. Kuidut virtaavat nestepinnan alapuolella olevan sihtilevyn läpi. Kuidut erotetaan oksista pesulipeän avulla. Rejeki poistuu 25–30 %:n sakeudessa pesurista ruuvilla avulla ja purkautuu sen yläosasta. Oksat ohjataan takaisin keittoon. Hiekanerotus tapahtuu oksapesurin jälkeen. Osa hiekasta poistuu oksanerottimen rejektin mukana oksapesuriin, mutta osa jatkaa pesurista akseptin mukana pois. Tämän vuoksi hiekanerotin sijoitetaan yleensä oksapesurin jälkeen. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 116–117.)



Kuva 10. Oksapesuri (KnowPulp 2022)

Hienolajittelussa laitteina käytetään painelajittimia. Lajittelu tapahtuu kolmi- tai nelivaiheisena niin, että ensimmäisen eli primäärivaiheen aksepti jatkaa matkaa seuraavaan prosessin vaiheeseen ja rejekti puhdistetaan uudelleen. Primäärilajittelussa käytetään reikä- tai rakorumpuja, massa on 0,5–0,6 %:n sa-
keudessa. Kuvassa 11 on esitetty hienolajittimen rakenne. (Seppälä ym. 1999 117.)



Kuva 11. Hienolajitin (Fardim 2011, 445)

Kevyen rejektin poisto tarkoittaa muovin poistamista prosessista. Muovin määrä massavirrassa on pieni, mutta se on vaikeimmin poistettavissa. Muovi ja muut kevyet partikkelit poistetaan painelajittimen roottorin synnyttämän keskipakovoiman avulla. Roottorin aiheuttaman voiman ansiosta partikkelit eroavat toisistaan tiheyden mukaan. Muovin tiheys on pienempi kuin kuitujen. Roottori on avoin alhaalta, jolloin kaikista kevyimmät partikkelit pääsevät sen sisään. Roottorin sisältä muovi kerätään siihen tarkoitetuilla putkistoilla. (Fardim 2011, 447; Seppälä ym. 1999, 120.)

3.5 Jälkikäsittely

Massan jälkikäsittely sisältää massan rainauksen, kuivatuksen ja varastoinnin. Sellutehdas voi olla integroitu, jolloin sellutehdas ja paperi- tai kartonkitehdas ovat vierekkäin ja massa pumpataan putkia pitkin suoraan paperin tai kartongin raaka-aineeksi. Sellutehdas voi olla myös integroimaton, jolloin alueella on vain sellutehdas ja massa täytyy kuivata ja paalata sellupaaleiksi, jotka voidaan rekalla tai junalla kuljettaa käyttökohteeseen. Sellu kuivataan 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin sen kuljetus on edullisinta, eikä se kärsi kosteuden aiheuttamista ongelmista. (Fardim 2011, 602; Seppälä ym. 1999, 138)

Sellutehtaan kuivatuskone koostuu perälaatikosta, viiraosasta, puristinosasta, kuivatusosasta, leikkuriosasta ja paalausosasta. Perälaatikosta massa johdetaan laimennettuna viiraosalle, jossa massa rainataan eli muodostetaan tiheä kuituverkosto ja poistetaan vettä. Puristinosalla veden poistoa jatketaan puristamalla rainaa. Kuivatusosalla raina kuivatetaan lopullisesti. Leikkuriosalla raina leikataan arkeiksi ja paalausosalla leikatut arkit paalataan varastointia ja kuljetusta varten. (Seppälä ym. 1999, 138)

Massan kuivaamisessa on tärkeää aloittaa vedenpoisto jo kuivatuskoneen viiraosalla, sillä massa kuivataan noin 45–55 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Viira- ja puristinosalta massasta poistetaan vesi mekaanisesti, ja se otetaan talteen. Talteen otettua vettä kutsutaan 0-vedeksi. Kuivatusosalla loput massassa olevasta vedestä poistetaan haihduttamalla ja näin saavutetaan 90 %:n kuiva-ainepitoisuus. Massa syötetään kuivatuskoneen perälaatikkoon massajärjestelmästä, jonka tarkoituksena on saada massan sakeus ja virtaus tasaiseksi. Massa laimennetaan 1,0–2,0 %:n sakeuteen perälaatikkoon syötettäessä.

Massa siirtyy huuliaukon kautta viiraosalle, jossa siitä muodostuu koko viiraosan levyinen tasainen kuitumatto.

Viiraosan tärkeimpänä tehtävänä on rainan muodostus ja poistaa massasta vettä viirakudoksen läpi. Veden poistoa tehostetaan viiraosalla imemällä vettä imulaatikoiden ja tyhjäpumpujen avulla. Viiraosan tehtävänä on myös estää flokkien eli kuitukimppujen synty hydrodynaamisten voimien avulla. Viiraosan lopussa on imutela, jonka avulla kuiva-ainepitoisuus saadaan 25–28 %:iin. Viiraosalta poistuva vesi kerätään vesisäiliöön ja käytetään laimennusvetenä eri kohteissa. Näin estetään mahdollisimman tehokkaasti kuituhäviöt. Viiraosan lopussa on leikkurit, jotka leikkaavat massaradan halutun levyiseksi ja syntyvä hylkymassa pumpataan uudelleen käyttöön. Viiraosat voivat olla joko kaksoisviirakoneita eli vettä poistuu radan ylä- sekä alapuolelta tai voi olla vain yksi viira, jolloin vesi poistuu vain radan alapuolelta. Kaksoisviirakoneella kuiva-ainepitoisuus voidaan saada jopa 37 %:iin. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 139–140.)

Puristinosalla massa kulkee puristintelojen läpi. Massa kulkee huovan päällä kahden telan muodostaman nipin läpi. Ylempää telaa painetaan alemmaa telaa vasten varovaisesti, jotta kuitumatto ei pääse rikkoutumaan. Puristinosalla käytetään yleisesti kolmea puristinta. Huovan tarkoituksena on imeä massaradasta vettä itseensä. Ensimmäisellä puristimella oleva huopa on kudottu harvemmaksi kuin jälkimmäiset. Huovat pidetään puhtaana kuumavesisuihkuilla, ja vesi imetään imutelojen avulla pois huovista. Radan kuivuessa veden puristus radasta vaikeutuu. Tällöin rataa lämmitetään höyryllä, jotta veden viskositeetti alenee ja veden poistuminen huopaan tehostuu. Viimeisen puristimen jälkeen radan kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. (KnowPulp 2022; Seppälä ym. 1999, 141.)

Vesi haihdutetaan pois massasta kuivatusosalla veden kiehumispistettä alemmassa lämpötilassa. Lämpöä johdetaan massaan ja samaan aikaan syntyvää vesihöyryä poistetaan tuuletusilman mukana pois kuivaimesta. Puhallinkuivaus on yleisin sellun kuivaamiseen käytetty menetelmä. Sitä on mahdollista käyttää eri laaduissa, neliömassoissa ja tuotantokapasiteeteissa. Sen kuivauskapasiteetti on jopa yli 3 500 tonnia sellua päivässä. Puhallinkuivauksessa ilma kuivaa ja pitää rainan erillään kuumista pinnoista, jotka voisivat

vahingoittaa kuituja. Raina ajetaan sisään kuivaimeen sen yläosasta, ja se kulkee vaakasuuntaisesti edestakaisin ennen kuin se poistuu sieltä. Raina kulkee ilmatyynyjen avulla, jotka vähentävät likaantumista ja kunnossapitokustannuksia. Ilmatyyny syntyy, kun kuivatusilmaa puhalletaan pienistä rei'istä, joita on rainakerrosten välissä. Raina kulkee kääntötelojen päällä. Kuivaustulokseen vaikuttaa useat tekijät, kuten massan tyyppi, rainan kosteus ja lämpötila sekä ilman olosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus. Kuuma ja kuiva ilma johdetaan sisään kuivaimeen sen alaosasta, ja kostea ilma poistetaan kuivaimen yläosasta. Tällöin kuivaimeen puristinosalta syötettävä kostea raina alkaa kuivumaan kosteamman ilman vaikutuksesta. Mitä lähemmäs pohjaa mennään kuivausilma kuivaa samoin kuin massaraina. Näin saavutetaan korkea kuiva-ainepitoisuus pienemmällä lämmönkulutuksella. Kuivaimen laitteet, kuten kiertoilmapuhallin, puhalluslaatikot ja lämmityspatterit, muodostavat sisäisen kiertoilman. Noin 95 % kuivaimessa käytettävästä ilmasta kierrätetään tässä järjestelmässä. Raina poistuu kuivaimesta noin 90 %:n kuiva-ainepitoisuudessa.

Kuivauksen jälkeen raina on jäähdytettävä noin 40 °C lämpötilaan. Tämä tapahtuu jäähdyttimessä, joka on yleensä yhdistettynä kuivaimeen. Jäähdyttimessä on jäähdytysilmapuhallinlaatikot, jotka puhaltavat huoneenlämpöistä ilmaa rainaan ja näin ollen jäähdyttävät sen. Rainan jäähdytys on tärkeää sen jatkokäytön vuoksi. Kemialliset reaktiot ovat nopeampi lämpimissä olosuhteissa, minkä vuoksi esimerkiksi vaaleus ja kuidutettavuus kärsivät. (Fardim 2011, 651–656; Seppälä ym. 1999, 142–143.)

Lopuksi rata syötetään paalauslinjaan, jossa se leikataan arkkileikkurilla ensin pituussuunnassa ja sitten poikkisuunnassa halutun kokoiseksi arkeiksi. Leikatut arkit pinotaan paaleiksi, jotka punnitaan ja puristetaan. Tämän jälkeen paalit menevät käärintälaitteeseen, jossa ne sidotaan yhteen ja merkitään paalin tiedot. Valmiit paalit varastoidaan tai kuljetetaan rekalla, junalla tai laivalla käyttökohteeseen. (Seppälä ym. 1999, 143)

4 VAAHDONESTO

Sellun valmistuksen kriittisin vaihe on ruskean massan pesu, sillä kuidut on erotettava mahdollisimman tarkasti mustalipeästä. Esimerkiksi ligniiniä, saippuaa ja keittokemikaaleja massasta poistettaessa on selvää, että saippuan erotus on kaikkein vaikeinta ja aiheuttaa ongelmia massan pesuun.

Sulfaattisellun valmistuksen aikana syntyy runsaasti vaahtoavia tuotteita, ja ne vaikeuttavat sellun pesua ja lajittelua. Vaahtoamista aiheutuu, kun puuaineksesta poistetaan alkalisissa olosuhteissa ligniiniä ja uuteaineita. Vaahtoamisen estämiseen on olemassa erilaisia aineita, joilla sitä voidaan hillitä. Vaahdonesto voidaan jakaa kahteen eri alueeseen, joita ovat nestepinnoille muodostuvan vaahdonesto ja vesi-massaseoksessa olevan ilmanpoisto. (KnowPulp 2022; Tikka 2008, 364.)

4.1 Vaahdon synty

Vaahdon syntyminen vaatii nesteen, kaasun ja liunneen ainesosan, koska puhdas neste ei vaahtoa. Vaahtoamista syntyy, kun pinta-aktiivinen liuennut aine aiheuttaa tiivistymistä kaasu-neste-rajapinnoille ja alentaa samalla nesteen pintajännitystä. Muodostuneen vaahdon pysyvyyteen vaikuttaa myös esimerkiksi pinnan viskositeetti, pinta-ala, lämpötila tai pH. (KnowPulp 2022.)

Sellun valmistuksessa vaahtoamista syntyy pesuvaiheessa, jossa vaahtoamiseen vaikuttaa eniten mustalipeän viskositeetti ja pintajännitys. Myös mustalipeän lämpötila ja pH voivat vaikuttaa vaahdon syntymiseen, mutta se on vähäistä. Lämpötilan nousu lisää mustalipeän vaahtoamista, mutta se myös heikentää syntyvien kuplien stabiilisuutta, jonka vuoksi ne hajoavat helpommin. Mustalipeän sisältämät rasvahapot ovat tutkitusti merkittävin syy vaahtoamisen syntyyn. Ligniinillä ja hemiselluloosalla ei ole suurta vaikutusta vaahdon syntyyn. (Jantunen 2005, 42–43; KnowPulp 2022; Tikka 2008, 364.)

Massasuspensioon jäänyt ilma tai kaasu heikentää pesureiden toimintaa, sillä vaahtokuplat tarttuvat kuitujen pintaan ja näin ollen estävät pesunesteiden vapaan virtauksen massassa ja alentavat pesurista poistuvan suspension

sakeutta. Tuotantonopeus voi alentua jopa 25–30 % mikäli massasuspensio sisältää 5 tilavuusprosenttia kaasuja. (Tikka 2008, 364.)

4.2 Vaahdotyypit

Vaahdotyypit sellu- ja paperiteollisuudessa voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden syntytapojen perusteella, jotka ovat: pintavaahto, vapaat kuplat ja liuenut ilma tai kaasu. Pintavaahtoa syntyy sulpun ja suodosten pinnoille, ja se havaitaan yleensä pesureissa, suotimissa ja säiliöissä. Pintavaahto voi aiheuttaa materiaalihäviöitä, kun kuidut sitoutuvat vaahtoon ja joutuvat ylivuodon seurauksena viemäriin.

Sulpun ja suodoksen sisältämä ilma voi olla pieninä vapaina kuplina väliaineessa tai sitoutuneena ilmaa. Sitoutunut ilma on pieninä kuplina tarttuneena kuiduissa, lisäaineissa ja hienoaineessa. Ilmakuplat heikentävät nestevirtausta kuitujen välissä pesureissa. Tämä heikentää pesutulosta ja massakakun muodostusta pesurin viiralle.

Ilma voi olla myös liuenneena molekyylimuodossa veteen. Liennut ilma ei aiheuta vaahtoamista tai häiriöitä laitteistoon, jos se pysyy täysin liuenneena koko ajan. Ilma voi kuitenkin vapautua kaasuksi lämpötilan tai paineen muutoksien seurauksena. (KnowPulp 2022.)

4.3 Ongelmat

Ruskean massan pesussa ilmentyy eniten vaahtoamista, sillä mustalipeä sisältää pinta-aktiivista ainetta. Massan tehokas pesu on tärkeää, jotta vaahtoamista ei pääse tapahtumaan myöhemmissä prosessivaiheissa. Vaahtoamista aiheutuu myös massan lajittelussa ja siirrossa vapaiden pudotuksien seurauksena.

Vaahtoaminen aiheuttaa ongelmia monissa eri prosessin vaiheissa. Se voi alentaa säiliöiden ja pumppujen kapasiteettia sekä aiheuttaa kavitointia ja aiheuttaa epäluotettavuutta virtaus- ja sakeusmittauksiin. Vaahtoaminen voi aiheuttaa materiaalihäviöitä, sillä kuidut kulkeutuvat ilmakuplien mukana ylivuotona viemäriin. Vaahto kerää itseensä esimerkiksi pihkaa sekä muita prosessille haitallisia aineita. (KnowPulp 2022.)

4.4 Vaahtoamisen estäminen

Ilman ja vaahton estäminen voidaan jakaa kahteen osaa, joista ensimmäisessä osassa massaan sitoutunutta ilmaa poistetaan jo ennen kuin siitä muodostuu pintavaahtoa. Toisessa osassa pyritään poistamaan jo syntyneitä vaahtoa. Vaahtoamisen estämiseen voidaan käyttää joko mekaanista tai kemiallista tapaa. Mekaanisesti vaahtoa voidaan poistaa esimerkiksi vesisuihkujen avulla ja mitoittamalla laitteistot oikein. Kemiallisessa vaahtonestossa käytetään erilaisia vaahtonestoaineita, jotka rikkovat pinta-aktiivisten aineiden rakenteen kaasu-neste-pinnoilla. (KnowPulp 2022.)

4.5 Vaahtonestoaineet

Vaahtonestoaineet voidaan jakaa neljään osaan koostumuksen perusteella, joita ovat öljypohjaiset vaahtonestoaineet, vedellä jatkettua vaahtonestoaineet, vesipohjaiset vaahtonestoaineet ja geelipartikkelivaahdonestoaineet.

Öljypohjaisissa vaahtonestoaineissa öljy voi olla mineraali-, kasvi- tai silikoniöljy. Vedellä jatkettua vaahtonestoaineet ovat silikoniöljy-vesiemulsioita. Vesipohjaiset vaahtonestoaineet ovat orgaanisten happojen tai rasva-alkoholien vesiemulsioita ja geelipartikkelivaahdonestoaineet koostuvat hydrofiilisista rasvahappodispersioista. Ne reagoivat prosessissa olevien kationien kanssa ja muodostavat hydrofobisia aineita, jotka rikkovat syntyvää vaahtoa. Öljypohjaisilla vaahtonestoaineilla pystytään ehkäisemään vaahton uudelleen syntyä, kun taas vesipohjaisilla vaahtonestoaineilla saadaan hajotettua jo syntynyt vaahto. (Jantunen 2005, 44; KnowPulp 2022.)

Vaahtonestoaineissa käytetään alifaattisia mineraaliöljyjä, rasvahappoesteereitä ja -amideja, parafiineja sekä etyleeni- ja propyleenioksidien yhdisteitä. Nykyisin käytetyimpiä vaahtonestoaineita ovat silikonipohjaiset vaahtonestoaineet, sillä ne toimivat tehokkaasti laajoilla lämpötila- ja pH-alueilla. Niillä on 3–5 kertaa pidempi vaikutusaika verrattuna mineraalipohjaisiin vaahtonestoaineisiin. Silikonipohjaiset vaahtonestoaineet ovat myös noin neljä kertaa kalliimpia kuin mineraalipohjaiset, mutta niiden kulutus on paljon pienempää. Silikonipohjaisia vaahtonestoaineita tarvitsee käyttää vain noin 1/3–1/5 mineraalipohjaisten vaahtonestoaineiden käyttömäärästä. Silikonipohjainen

vaahdonestoaine levittyy paremmin mustalipeän joukkoon ja on inertti mikä tarkoittaa sitä, että se ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa. Tämän vuoksi se ei häiritse muita prosessissa tapahtuvia kemiallisia reaktioita. Ne eivät myöskään ole niin riippuvaisia prosessin olosuhteista kuin muut vaahdonestoaineet. (Jantunen 2005, 45; KnowPulp 2022.)

Vaahdonestoaineet tulisi annostella suoraan vaahtoavaan prosessin kohtaan tai juuri ennen sitä, jotta saadaan kaikista varmin lopputulos. Annostelukohdassa on oltava tehokas sekoitus, kuten voimakas massavirta, pumpun imu-puoli tai säiliö. Vaahdonestoainetta voidaan annostella myös pesureiden suihkuihin tai laimennussuodoslinjoihin, mutta silloin annostelupaikkoja tulee olla useita, jotta sekoittuminen on tehokasta.

Ruskean massan pesussa silikonipohjaista vaahdonestoainetta käytetään noin 0,25–0,4 kilogrammaa tuotettua sellutonnia kohden, josta käytetään lyhennettä kg/Adt = kilogram per air dried ton of pulp. Tämä on noin neljäsosa mineraalipohjaisten vaahdonestoaineiden käyttömääristä. Valkaistun sellun valmistuksessa on oltava tarkka silikonipohjaisen vaahdonestoaineen annostelun suhteen. Liian myöhäisessä vaiheessa lisätty vaahdonestoaine kulkeutuu helposti kuitujen mukana lopputuotteeseen ja aiheuttaa ongelmia. (KnowPulp 2022.)

4.6 Vaahdonestoaineen aiheuttamat ongelmat

Vaahdonestoaineen annostelussa yleisin ongelma on, että prosessimuutosten seurauksena annostelua lisätään ja tilanteen tasoituttua annostelua ei muisteta vähentää. Tätä voitaisiin ehkäistä esimerkiksi pintavaahdon tunnistimella, mikä antaa tietoa sulpun vaahtoamisherkkyydestä ja näin ollen saada annostelu palautettua takaisin oikealle tasolle.

Vaahdonestoaineet voivat aiheuttaa vaikealiukoisia saostumia uuteaineiden kanssa, minkä vuoksi niiden oikea annostelu on hyvin tärkeää. Silikonipohjaiset vaahdonestoaineet voivat helposti muodostaa kasaumia uuteaineiden kanssa, jotka tarttuvat laitteistojen seinille tai adsorboituvat kuituun. Likaantumista saatetaan ehkäistä lisäämällä kemikaaleja, joiden tarkoituksena on

”puhdistaa” prosessia. Ne voivat kuitenkin pahentaa tilannetta tai aiheuttaa lisää ongelmia myöhempiin prosessin vaiheisiin ja tuotteen jatkojalostukseen.

Ruskean massan valmistuksessa syntyvät saostumat voidaan jakaa epäorgaanisiin, orgaanisiin ja biologisiin kasaumiin. Kasaumat, jotka tarttuvat esimerkiksi pumppuihin ja putkistoihin, ovat yleensä epäorgaanisia kasaumia, kuten kalsiumsaostumia. Orgaaniset saostumat ovat peräisin vaahdonestoaineissa olevista silikoneista ja vahoista. Ne voivat olla tahmeita, kumimaisia tai hydrofobisia ja ne tarttuvat helposti laitteiden pinnoille ja kulkeutuvat lopputuotteeseen. Silikonien aiheuttamia ongelmia pystytään vähentämään tehokkaalla pesulla ja vaahdonestoaineiden oikealla annostelulla. (KnowPulp 2022.)

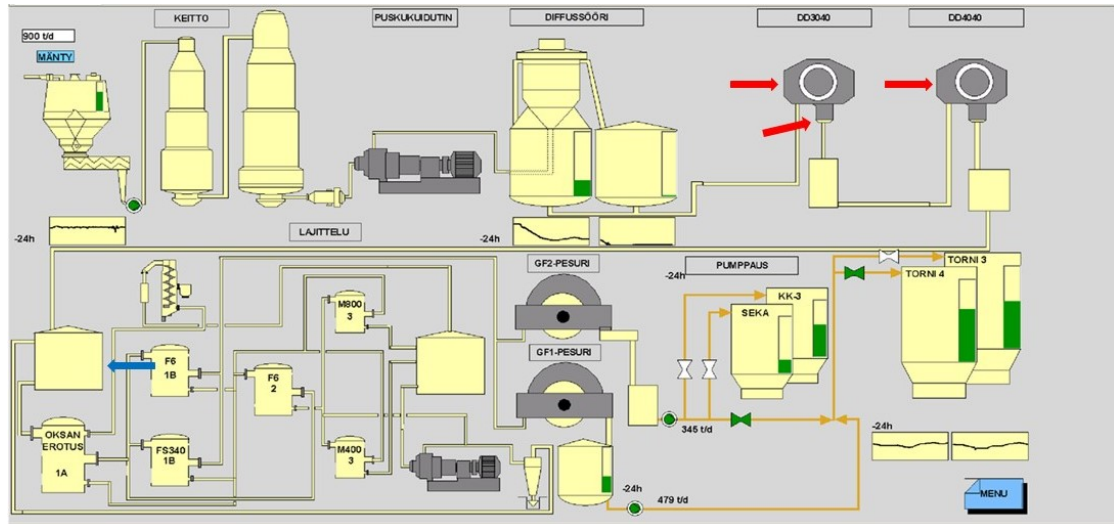
5 VARKAUDEN TEHTAAN KUITULINJA

Varkauden Stora Enson tehtaalla valmistetaan sellua männystä ja kuusesta kartonkikoneen kartongin raaka-aineeksi. Osa sellusta myös kuivataan myyntiin. Sellutehtaan kapasiteetti on 900 tonnia sellua päivässä. Kuvassa 12 on Varkauden sellutehtaan kuitulinjan prosessikaavio.

Hake syötetään hakekasoista ja hakesiiloista imeyttimeen, josta se johdetaan höyryfaasikeittimeen. Keittimessä tapahtuu ensimmäinen pesuvaihe eli keitinpesu. Keittimestä massa siirretään puskukuiduttimelle, jossa massaa jauheetaan vielä lisää. Kuiduttimelta massa siirtyy diffusöörille, jossa tapahtuu massan toinen pesuvaihe. Käytössä oleva diffusööri on atmosfäärinen diffusööri eli se toimii normaalissa ilmanpaineessa. Diffusööriltä massa siirtyy DD-pesureille, joita on kaksi, ja ne ovat kytketty sarjaan. Ensimmäinen pesuri on DD3040 eli sen halkaisija on kolme metriä ja pituus neljä metriä. Seuraavan DD-pesurin DD4040:n halkaisija on neljä metriä ja pituus neljä metriä. DD-pesureiden jälkeen massa lajitellaan ja pestään GF-pesureilla, joita on myös kaksi kappaletta, ja ne ovat kytketty rinnan.

DD-pesureilla käytetään silikonipohjaista vaahdonestoainetta ja lajittelunsyötösäiliöön käytetään valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta. Vaahdonestoaineita annostellaan suoraan molempien DD-pesureiden pesunesteen joukkoon. Vaahdonestoainetta lisätään myös DD3040-pesurin purkuruuville. Kolmas vaahdonestoaineen annostelupaikka on lajittelunsyötösäiliö. Kuvaan 12

on merkitty punaisilla nuolilla silikonipohjaisen vaahdonestoaineen annostelukohtat ja sinisellä nuolella valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen annostelukohta. Pesureilta massa pumpataan joko suoraan kartonkikoneen massasäiliöihin tai sellun kuivatuskoneelle.



Kuva 12. Varkauden tehtaan kuitulinjan prosessikaavio, missä silikonipohjaisen vaahdonestoaineen annostelukohteet merkitty punaisilla nuolilla. Valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen annostelukohta on merkitty sinisellä. (Stora Enso 2022.)

6 KOEAJO

Koeajon tarkoituksena on löytää mahdollisimman alhainen vaahdonestoaineen määrä, jolla pesuprosessi ja laitteet toimivat puhtaasti ja vaahtoamatta. Optimoimalla vaahdonestoaineen määrä saadaan myös kustannussäästöjä, sillä kemikaaleja ei käytetä enempää kuin prosessi vaatii.

Koeajossa pyritään löytämään alhaisin vaahdonestoaineen määrä 900 t/d-tuotannolle mikä on kuitulinjan täyden kapasiteetin tuotanto. Toinen koeajo pyritään myös suorittamaan pienemmällä tuotannolla (esimerkiksi 800 t/d), jos tuotantomääriä joudutaan tai pystytään koeajon aikana pudottamaan.

Vaahdonestoaineita annostellaan tällä hetkellä noin 450–350 g/Adt:tä eli 450–350 grammaa yhtä ilmakeivää sellutonnia kohden, ja annostelumäärä halutaan pienentää mahdollisimman alhaiseksi. Käytössä olevat vaahdonestoaineet ovat silikonipohjainen ja valkoöljypohjainen, joista valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen käyttö halutaan minimoida. Vaahdonestoaineita annostellaan molemmille DD-pesureille, DD3040-pesurin purkuruuville ja

lajittelunsyöttösäiliöön. Kuvassa 13 on silikonipohjaisen vaahdonestoaineen säiliö ja annostelulaitteisto.



Kuva 13. Silikonipohjaisen vaahdonestoaineen annostelulaitteisto (Monthan 2022)

6.1 Koeajosuunnitelma

Koeajossa vaahdonestoaineiden määrää säädellään ja tarkkaillaan sen vaikutuksia muun muassa johtokykyyn DD4040-pesurin suodoksessa ja GF-pesureiden pyörimisnopeuteen. GF-pesureiden maksimi pyörimisnopeutena pidetään yhtä kierrosta minuutissa (rpm = round per minute). Pelkona on, että kun kierrosnopeus nousee korkeaksi, rata ei kestä enää pesurin viiralla. Johtokyvyn kasvu on seurausta siitä, että pesurit eivät pese massaa kunnolla ja massa jää likaiseksi. Johtokyvyn olisi hyvä pysyä alle 800 mS/m (millisiemenssiä metriltä), jotta massa on tarpeeksi puhdasta. Valkoöljypohjaisen aineen määrää pudotetaan koko koeajon ajan, ja tavoitteena on ajaa lopulta niin, ettei sitä annostellaan lainkaan. Mikäli siitä ei ole haittaa tuotannolle voidaan sen käytöstä luopua jatkossa kokonaan. Taulukossa 1 on 900 t/d-tuotannon koeajosuunnitelma, jonka ensimmäiset arvot ovat lähtötilanne eli arvot, josta vaahdonestoaineiden määrää lähdetään pudottamaan. Kohdat 1–10 suunnitellut koeajoarvot.

Taulukko 1. 900 t/d-tuotannon koeajosuunnitelman annostus

Annostelukohteet	Lähtötilanne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt
DD3040	130	140	150	150	150	160	130	140	130	120	110
DD4040	65	75	80	70	70	80	80	70	65	60	55
Purkuruuvi	55	65	70	60	60	70	70	60	55	50	45
Lajittelunsyöttösäiliö	180	120	80	60	40	0	0	0	0	0	0
yht.	430	400	380	340	320	310	280	270	250	230	210

Ensimmäinen koeajo suoritetaan 900 t/d-tuotannolle. Koeajossa kasvatetaan ensin silikonipohjaisen aineen määrää ja pudotetaan valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen määrää. kokonaisannos pienenee koko ajan. Kun valkoöljypohjainen vaahdonestoaine on saatu pois käytöstä, voidaan alkaa pienentämään silikonipohjaisen vaahdonestoaineen annostelua. Annoksen pienentämistä jatketaan niin pitkään, että löydetään alin määrä, jolla tuotanto toimii. Alin määrä on löydetty, kun annosta joudutaan ottamaan hiukan takaisinpäin, eli nostamaan annosta.

Taulukko 2. 800 t/d-tuotannon koeajosuunnitelman annostus

Annostelukohteet	Lähtötilanne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt	g/Adt
DD3040	120	130	130	130	130	120	110	110	110	110	110
DD4040	70	70	70	70	70	70	75	70	65	60	55
Purkuruuvi	60	60	60	60	60	60	65	60	55	50	45
Lajittelunsyöttösäiliö	80	60	40	20	0	0	0	0	0	0	0
yht.	330	320	300	280	260	250	250	240	230	220	210

Toinen koeajo ajetaan 800 t/d-tuotannolla ja, se etenee samalla tavalla, kuin ensimmäinenkin koeajo. Taulukossa 2 on suunnitelma koeajosta. Ensin silikonipohjaisen aineen määrää kasvatetaan ja valkoöljypohjaisen aineen määrää pudotetaan, jotta kokonaisannos tippuu. Silikonipohjaisen aineen määrää aletaan pudottamaan, kun valkoöljypohjainen aine on saatu pois käytöstä. Tämäkin koeajo päätetään, kun alin annosmäärä on löydetty ja annosta jouduttu vähän nostamaan.

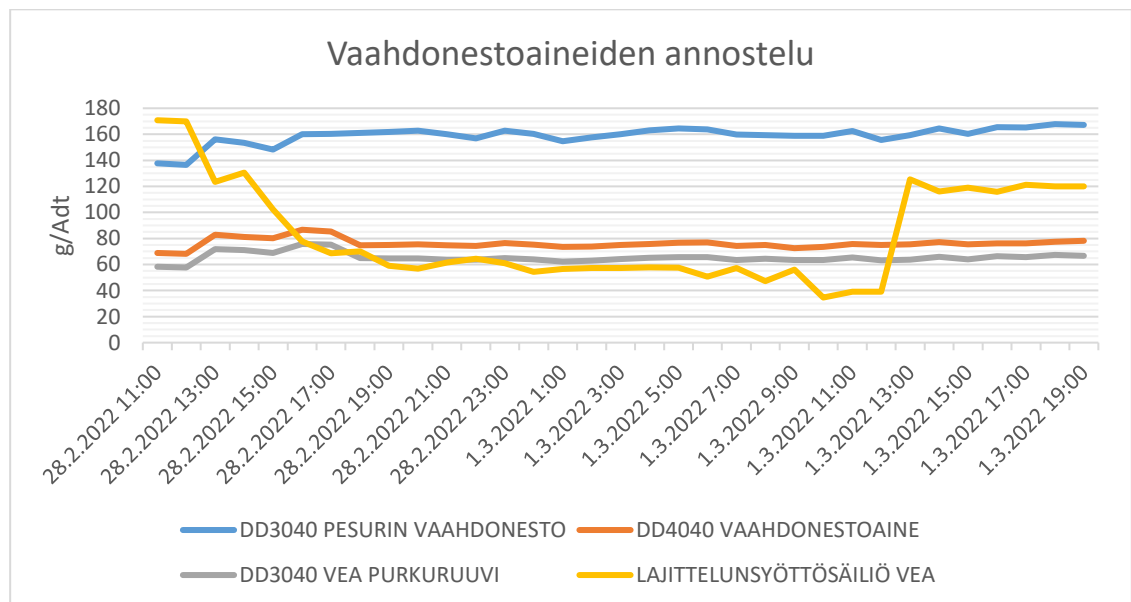
6.2 Koeajojen tulokset

6.2.1 900 t/d-tuotannon koeajon tulokset

Ensimmäinen koeajo suoritettiin normaalilla tuotantomäärällä eli 900 t/d. Vaahdonestoaineen kokonaisannostelumäärä oli 430 grammaa ilmakuivaa sellutonnia kohden, josta 250 g/Adt oli silikonipohjaista vaahdonestoainetta ja loput 180 g/Adt valkoöljypohjaista. Vaahdonestoaineen määrää lähdettiin pudottamaan niin, että silikonipohjaisen aineen annosta lisättiin ja

valkoöljypohjaista vähennettiin suhteessa enemmän niin, että kokonaisannosmäärä laski. Annosta pudotettiin muutaman tunnin välein ja samalla seurattiin johtokyvyn muutosta DD4040-pesurin suodoksesta ja GF-pesureiden pyörimisnopeuksia.

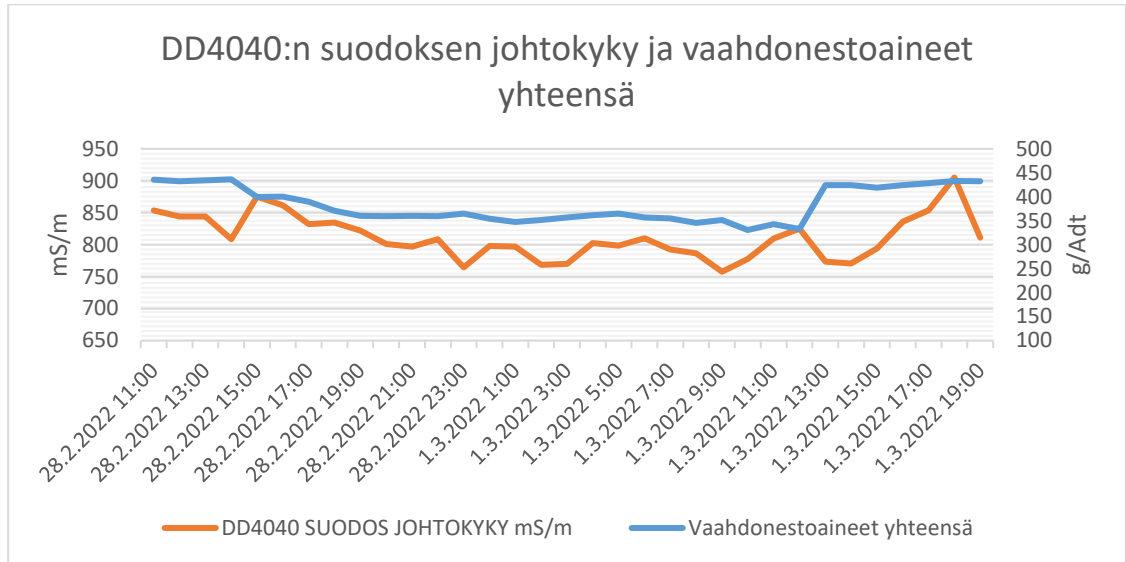
Koeajot aloitettiin 28.2.2022, ja ensimmäisen päivän aikana kokonaisannos pudotettiin koeajosuunnitelman mukaisesti 340 g/Adt:hen. Tämä annosmäärä jätettiin yöksi. Seuraavana aamuna 1.3.2022 annosta pudotettiin uudestaan koeajosuunnitelman mukaisesti 320 g/Adt:hen. Tämä oli kuitenkin liian alhainen määrä ja annosta jouduttiin lisäämään niin, että silikonipohjaista vaahdonestoainetta annosteltiin 280 g/Adt:hen ja valkoöljypohjaista 120 g/Adt:hen. Koeajot täytyi lopettaa tämän muutoksen jälkeen, sillä kuitulinjalla ilmeni muita ongelmia, joiden vuoksi vaahdonestoaineen määrää ei voitu enää pudottaa. Koeajoa jatkettiin 3.3.2022, jolloin kokonaisannosta pudotettiin 400 g/Adt:hen ensin, seuraavaksi 380 g/Adt:hen ja vielä 340 g/Adt:hen, johon se jätettiin yön yli. Koeajoa ei voitu jatkaa seuravana päivänä kuitulinjan alasajon vuoksi. Koeajot keskeytyivät lopulta kokonaan Ukrainan sodasta seuranneiden Venäjä-pakotteiden vuoksi.



Kuva 14. 900 t/d-tuotannon koeajon vaahdonestoaineiden annostelu

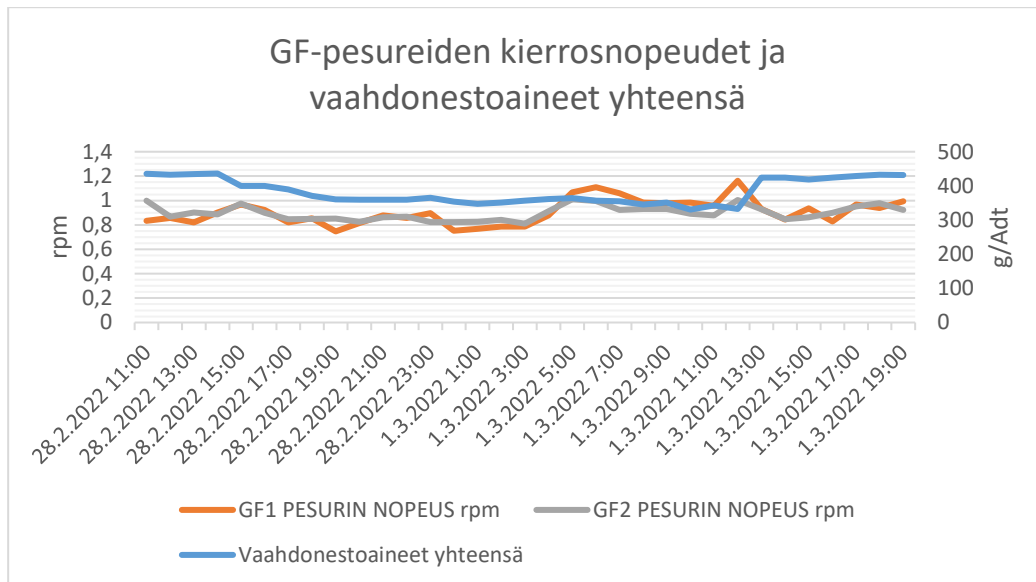
Kuvassa 14 on nähtävissä koeajosuunnitelman mukaan tehdyt muutokset. Suurimmat muutokset tehtiin lajittelunsyöttösäiliöön menevän valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen suhteen. Annosta lähdettiin pudottamaan 180 g/Adt:hen ja alimmillaan sitä annosteltiin 40 g/Adt koeajosuunnitelman kohdan

4 mukaan, joka kuitenkin jouduttiin nostamaan 120 g/Adt:hen GF-pesureiden kierrosten noustua. Silikonipohjaisiin vaahdonestoaineisiin ei tässä vaiheessa tehty suuria muutoksia, eikä niiden annostuksia muutettu, vaikka valkoöljypohjaista ainetta nostettiin.



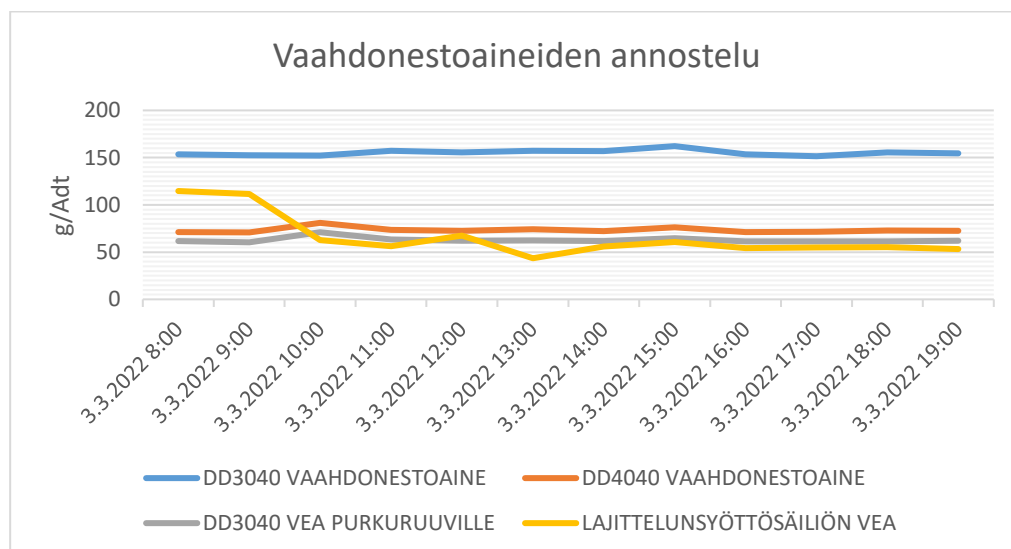
Kuva 15. 900 t/d-tuotannon koeajon DD4040:n suodoksen johtokyky

Johtokyky pysyi melko tasaisena, vaikka kokonaisannosta pudotettiin. DD-pesurit pesivät massaa hyvin, joten vaahdonestoainetta annosteltiin sopivat määrät DD-pesureille. Kuvassa 15 on nähtävissä, kuinka johtokyky alkaa noustamaan korkeaksi, kun vaahdonestoaineiden kokonaisannostelu on alimmillaan eli 340 g/Adt. Johtokyky kuitenkin alkoi laskemaan, kun valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta lisättiin. Johtokyvyn nousu johtui siis liian alhaisesta vaahdonestoaineen määrästä. Alin valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen annostelun määrä näkyy selvästi GF-pesureiden kierrosten sekä DD4040:n suodoksen johtokyvyn nousuna, minkä vuoksi annosta nostettiin selvästi. Kuvassa 16 näkyy, kuinka GF-pesureiden kierrokset putoavat takaisin alle 1 rpm, kun vaahdonestoaineen määrä palautetaan takaisin yli 340 g/Adt:hen. Annoksia ei pystytty säätämään enempään, sillä kuitulinjalla ilmeni muita ongelmia, minkä vuoksi koeajo keskeytettiin loppupäivän ja seuraavan päivän ajaksi.

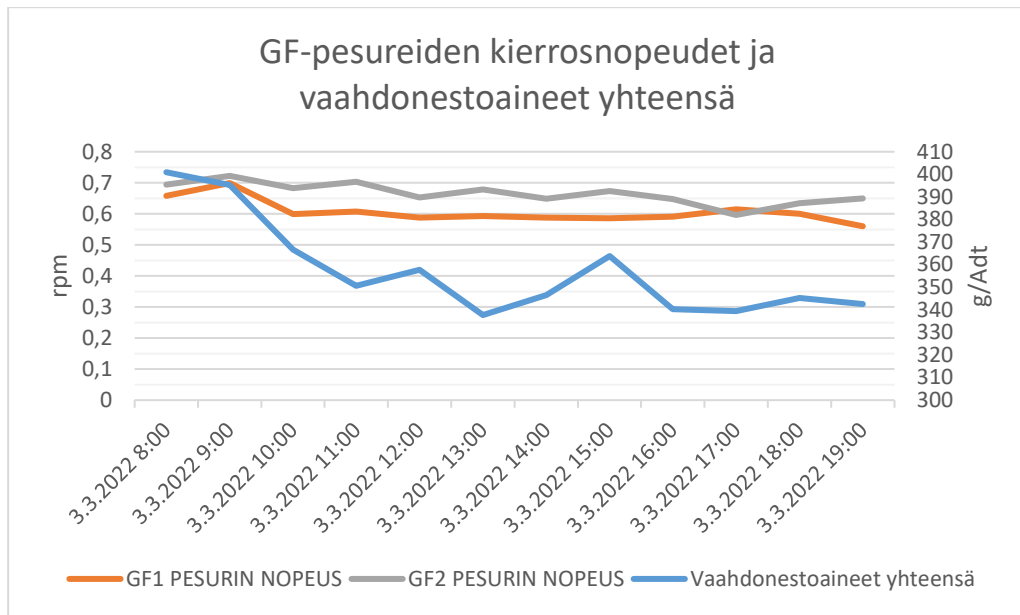


Kuva 16. 900 t/d-tuotannon koeajon GF-pesurien kierrosnopeudet

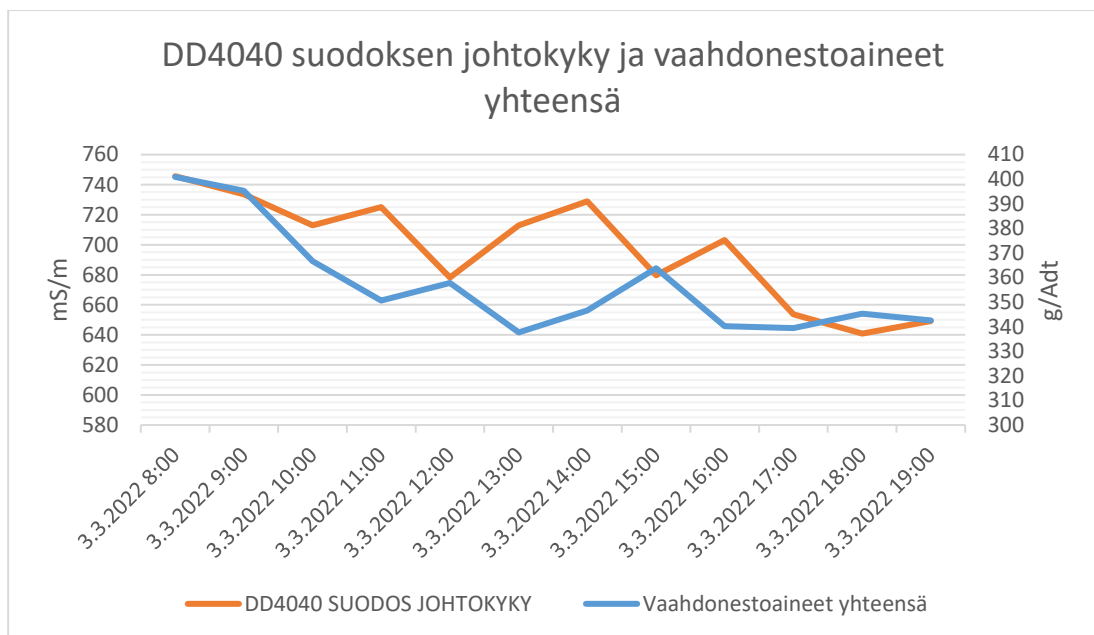
Koeajoa päästiin jatkamaan 3.3.2022, jolloin kokonaisannostelu oli 400 g/Adt. Kuvassa 17 on kuvattuna vaahdonestoaineiden annokset koeajon ajalta. Annosta pudotettiin ensin koeajosuunnitelman 2 kohdan mukaisesti 380 g/Adt:hen ja uudestaan vielä 340 g/Adt:hen, minkä oli tarkoitus jäädä yön yli. Muutoksien tekemistä oli tarkoitus jatkaa seuraavana päivänä, mutta koeajo keskeytyikin kuitulinjan alasajon vuoksi. Tehdyillä muutoksilla ei ollut vaikutusta GF-pesureiden kierroksiin, mutta DD-pesurin suodoksen johtokyvyssä tapahtui kasvua, muutokset ovat nähtävissä kuvissa 18 ja 19. Tämän seurauksena annosta nostettiin hetkellisesti, jotta tilanne rauhoittuisi. Myöhemmin illalla johtokyky alkoi tasoittua.



Kuva 17. 900 t/d-tuotannon koeajon vaahdonestoaineiden annostelu 3.3.2022



Kuva 18. 900 t/d-tuotannon koeajon GF-pesurien kierrosnopeudet 3.3.2022

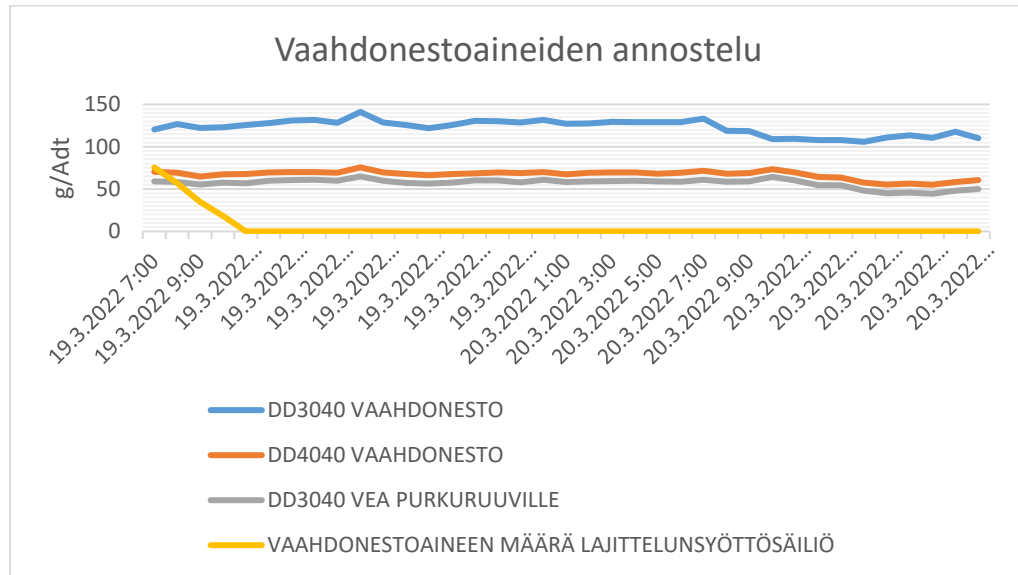


Kuva 19. 900 t/d-tuotannon koeajon DD4040 johtokyky 3.3.2022

6.2.2 800 t/d-tuotannon koeajon tulokset

Pakotteiden seurauksena kuitulinjan tuotanto pudotettiin 800 t/d:hen ja koeajot aloitettiin uudestaan tälle tuotantomäärälle. Koeajot suoritettiin 19.–20.3.2022. Vaahdonestoaineen kokonaisannosmäärä oli koeajon alussa 330 g/Adt. Annota muutettiin nostamalla silikonipohjaista ainetta 10 g/Adt:hen ja valkoöljypohjaista ainetta vähennettiin 20 g/Adt:hen. Tämän jälkeen annosta muutettiin pudottamalla valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta 20 g/Adt niin pitkään, että

annos oli 0 g/Adt. Tämän jälkeen kokonaisannos oli 260 g/Adt, mikä jätettiin yön yli. Seuraavana päivänä annostusta muutettiin vähentämällä silikonipohjaisen vaahdonestoaineen määrää ja suhteita eri annostelukohteisiin. Annos pudotettiin alimmillaan 210 g/Adt:hen, josta operaattorit olivat nostaneet annoksen 220 g/Adt:hen myöhemmin illalla.



Kuva 20. 800 t/d-tuotannon koeajon vaahdonestoaineiden annostelu

Kuvasta 20 nähdään, että DD3040-pesurille on koeajon alussa mennyt 120 g/Adt silikonipohjaista vaahdonestoainetta, mikä nostettiin neljän koepisteen ajaksi 130-g/Adt:n tasolle. Annosta vähennettiin ensin 120 g/Adt:n tasolle, ja lopulta 110 g/Adt:n tasolle. Valkoöljypohjaista ainetta vähennettiin tasaisesti 20 g/Adt jokaisessa koeajopisteessä kohtaan 4 asti. DD4040-pesurille ja DD3040-pesurin purkuruuville annosteltiin koko ajan 10 g/Adt:n erolla silikonipohjaista vaahdonestoainetta. Annostus näille pysyi kuudenteen koeajopisteeseen asti samana kuin lähtötilanteessa eli DD4040-pesurille meni 70 g/Adt ja DD3040-pesurin purkuruuville 60 g/Adt. Seitsemännessä koeajopisteessä kokeilimme nostaa molempien, DD4040:n ja DD3040:n purkuruuvin annostusta 5 g/Adt:lla ja samalla vähentää DD3040:n annosta 10 g/Adt:lla, jotta kokonaisannos pysyisi samana. Toiveena tässä muutoksessa oli GF-pesureiden pyörimisnopeuksien laskeminen, mutta muutimme ne takaisin entisiin lukemiin, sillä pelkona oli, että silikonia pääsee lopputuotteeseen. Kokonaisannos putosi muutoksen myötä 10 g/Adt:lla.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli löytää 900 t/d- ja 800 t/d-tuotantomäärille sopivat vaahdonestoainemäärät, jotta niiden liialliselta annostelulta välttyttäisiin. Koeajossa selvitettiin myös, onko valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen käytön lopettaminen mahdollista. Liian suurella sekä liian pienellä vaahdonestoaineen määrällä on prosessia haittaavia vaikutuksia, joten oikean vaahdonestoaineen määrän löytäminen tuo kustannussäästöjä sekä vakautta prosessiin. Työssä suoritetaan koeajot molemmilla tuotantomäärillä, joiden aikana vaahdonestoaineen määrää pudotetaan tasaisesti ja etsitään alin mahdollinen vaahdonestoaineen määrä, jolla prosessi toimii.

900 t/d-tuotannolla vaahdonestoaineen määrä pudotettiin onnistuneesti 430 g/Adt:n tasolta 340 g/Adt:n tasolle. Johtokyky ja GF-pesureiden pyörimisnopeus alkoivat kasvaa melko nopeasti, kun vaahdonestoainetta vähennettiin enemmän. Tämän koeajon perusteella ei voida vielä osoittaa, että valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta voidaan jättää pois ilman, että silikonipohjaista ainetta lisätään merkittävästi. Alimmillaan valkoöljypohjaista ainetta annosteltiin 40 g/Adt, mikä piti melko nopeasti nostaa, sillä pesureiden kierrokset alkoivat nousta yli 1,0 rpm:ään. Liian nopea kierrosnopeus voi aiheuttaa radan tippumisen pesurin viiralta. Prosessi toimi hyvin 340 g/Adt:n kokonaisannoksella, josta 280 g/Adt oli silikonipohjaista ja 60 g/Adt valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta.

Mikäli koeajoa olisi voinut jatkaa pidempään, olisi voinut kokeilla jättää valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen kokonaan pois ja nostaa silikonipohjaisen aineen 300 g/Adt:n tasolle. Vaarana kuitenkin on silikonipohjaisen aineen merkittävässä lisäämisessä, että sitä joutuu lopputuotteeseen.

800 t/d-tuotantomäärällä DD-pesurit pesivät tehokkaasti massaa, jolloin johtokyky pysyi koko ajan melko matalana, mikä kertoo pesutuloksen olevan erittäin hyvä, vaikka vaahdonestoaineen määrää laskettiin paljon. Koeajossa kehitettiin pudottaa DD3040-pesurille menevää annosta ja lisätä DD4040-pesurille ja DD3040-purkuruuville menevää annosta, jotta GF-pesureiden kierrosnopeus olisi pudonnut. Lopulta päädyttiin kuitenkin siihen tulokseen, että on

parempi annostella GF-pesureille vähemmän, sillä on vaarana, että silikoni pääsee kulkeutumaan lopputuotteeseen. Valkoöljypohjainen vaahdonestoaine vaikuttaa eniten GF-pesureiden toimintaan, mutta sen pois jättäminen ei kuitenkaan tuonut merkittävää muutosta niiden kierrosnopeuksiin tällä tuotantomäärällä. Koeajo sujui suunnitelmien mukaisesti, sillä alin annostelumäärä löytyi.

Jatkoselvityksenä tälle työlle voisi olla täyden tuotannon eli 900 t/d-tuotannon koeajon suorittaminen loppuun. Vaahdonestoaineen annostelun automatisointi, voisi tuoda helpotusta oikean määrän annosteluun. Tuotantomäärän muuttuessa vaahdonestoaineen annostelu ei olisi operaattorin muistettavana, vaan se tapahtuisi automaattisesti. Automatisoinnin avulla vältettäisi vaahdonestoaineen liiallisen ja liian vähäisen annostelun tuomat ongelmat.

LÄHTEET

Fardim, P. 2011. Papermaking Science and Technology. Chemical pulping part 1, Fibre Chemistry and Technology. 2. painos. Helsinki. Paperi ja Puu Oy. E-kirja. Saatavissa: https://forestbiofacts.com/wp-content/plugins/pdf-poster-pro/pdfjs/web/pviewer.php?file=https://forestbiofacts.com/wp-content/uploads/2020/11/VOL6_P3.pdf&download=false&print=false&side=true&open=false [viitattu 17.1.2022]

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. 3. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Jantunen, R. 2005. Kustannustehokas uuteainehallinta koivusulfaattitehtaalla. Teknillinen korkeakoulu. Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/286424868.pdf> [viitattu 29.12.2021]

KnowPulp. 2022. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.know-pulp.com/www/suomi/kps/ui/knowpulp.htm> [viitattu 30.12.2021]

Latokartano, M. 2019. Sellusta on moneksi. MetsäFibre. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.metsafibre.com/fi/media/Erinomaisuus-ja-Innovaatiot/Pages/Sellusta-on-moneksi.aspx> [viitattu 8.2.2022]

Metsäteollisuus ry. 2018. Suomen paperi-, kartonki- ja massatehtaat. PowerPoint-esitys. Saatavissa: https://metsateollisuus.sharepoint.com/:p:/r/sites/julkiset_tilastot/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B069C040D-C9E2-4E6B-9A34-A3F7CBF65DBF%7D&file=FI_PBL_MP_1_YrityksetJaTuotantolaitokset_paperi.pptx&action=edit&mobileredirect=true [viitattu 8.2.2022]

Metsäteollisuus ry. 2021a. Sellun suurimmat vientimarkkinat 2020. PowerPoint-esitys. Saatavissa: https://metsateollisuus.sharepoint.com/:p:/r/sites/julkiset_tilastot/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B0AB0B21C-8A17-42DE-A8D3-68AB600F66AB%7D&file=FI_PBL_MP_20%20Sellun%20vientimarkkinat.pptx&action=edit&mobileredirect=true [viitattu 8.2.2022]

Metsäteollisuus ry. 2021b. Sellun viennin määrän ja arvon kehitys Suomessa. PowerPoint-esitys. Saatavissa: https://metsateollisuus.sharepoint.com/:p:/r/sites/julkiset_tilastot/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B9180EC9C-F723-455C-8760-42262D7E3CF3%7D&file=FI_PBL_MP_20_Sellu%20vientimäärä%20ja%20arvo%20vuosittain%2010v.pptx&action=edit&mobileredirect=true [viitattu 8.2.2022]

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V.-A., Lyytikäinen, J., Siitonen H. & Siironen, R. 1999. Kemiallinen metsäteollisuus 1: paperimassan valmistus. Helsinki: Opetushallitus

Stora Enso. 2022. Varkauden tehtaan kuitulinjan prosessikaavio. Kuvankaappaus. [viitattu 30.3.2022]

Tikka, P. 2008. Papermaking Science and Technology. Chemical pulping part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2. painos. Helsinki. Paperi ja Puu Oy. E-kirja. Saatavissa: https://forestbiofacts.com/wp-content/plugins/pdf-poster-pro/pdfjs/web/pviewer.php?file=https://forestbiofacts.com/wp-content/uploads/2020/11/VOL6_C2.pdf&download=false&print=false&side=true&open=false [viitattu 20.1.2022]

UPM s.a. Kuinka sellua valmistetaan? Verkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upmpulp.com/fi/vastuullinen-sellu/kuinka-sellua-valmistetaan/> [viitattu 8.2.2022]

Ylitapio, M. 2017. Sellutehtaan pesulinjan ylätason säätöjen toimintakuvausten päivittäminen. Oulun ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127350/Ylitapio_Mikko.pdf?sequence=1 [viitattu 16.2.2022]