

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# VAAHDONESTOAINEIDEN OPTI- MOINTI

Säätöpiirin rakentaminen

TEKIJÄ    Jesse Kiira

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Jesse Kiira			
Työn nimi Vaahdonestoaineiden optimointi- Säättöpiirin rakentaminen			
Päiväys	01.05.2025	Sivumäärä/Liitteet	37
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Stora Enso Oyj Varkauden pakkauskartonkitehdas			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida vaahdonestoaineen annostelua Varkauden Stora Enson pakkauskartonkitehtaalla kuitulinjalla eri tuotantonopeuksille ja rakentaa säättöpiiri, joka ohjaa annosteltavaa määrää tuotannon mukaan. Työssä suoritettiin koeajot eri tuotantonopeuksilla ja määritettiin optimaaliset vaahdonestoaineen annostelumäärät eri annostelupisteille.</p> <p>Koeajojen perusteella löydettiin oikeat annostelumäärät, joiden avulla rakennettiin säättöpiiri, joka säättää automaattisesti vaahdonestoaineen annostelua prosessiin tuotantonopeuden mukaan. Optimoimalla vaahdonestoaineen annostelua saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä ja parannettiin prosessin toimintavarmuutta.</p> <p>Vaahdonestoaineiden optimointi keskittyi erityisesti DD-pesureihin ja lajittelunsiöttösäiliöön, joissa vaahdonestoainetta annostellaan valvomopäätteen kautta. Koeajojen aikana testattiin eri vaahdonestoaineiden annostelumääriä ja niiden vaikutusta prosessin toimintaan. Silikonipohjainen vaahdonestoaine todettiin tehokkaammaksi kuin valkoöljypohjainen vaahdonestoaine, ja sen avulla saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä.</p> <p>Säättöpiirin rakentaminen toteutettiin koeajojen pohjalta, ja sen avulla vaahdonestoaineen annostelua voidaan säätää automaattisesti eri tuotantonopeuksien mukaan. Säättöpiirin avulla saavutettiin kemikaali- ja kustannussäästöjä, sekä parannettiin prosessin mittalaitteiden toimintavarmuutta.</p>			
Avainsanat Vaahdonestoaine, kuitulinja, sellutehdas			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	VARKAUDEN PAKKAUSKARTONKITEHDAS .....	6
3	SELLUTEHDAS.....	7
3.1	Puunkäsittely .....	7
3.2	Kuitulinja .....	8
3.2.1	Hakkeen esihöyrytys .....	8
3.2.2	Imeytys ja keitto .....	9
3.2.3	Pesu ja lajittelu.....	13
3.3	Haihduuttamo.....	16
3.4	Soodakattila .....	16
3.5	Kaustisointi.....	17
4	VAAHDONESTOAINE.....	19
4.1	Vaahtoaminen .....	19
4.2	Vaahdonestoaineet .....	20
4.3	Vaahdon tuottamat ongelmat .....	20
4.4	Annostelukohteet .....	21
5	VARKAUDEN TEHTAAN KUITULINJA.....	22
6	VAAHDONESTO KOEAJO .....	24
6.1	Koeajosuunnitelma.....	24
6.2	900 t/D- tuotantonopeuden tulokset .....	26
6.2.1	Lajittelun vaahdonestoaine koeajot.....	26
6.3	750–850 t/d tuotantonopeuden tulokset.....	28
6.4	650–750 t/d tuotantonopeuden tulokset.....	29
6.5	550–650 t/d tuotantonopeuden tulokset.....	29
6.6	Koeajon häiriötekijät .....	29
6.6.1	Lajittelu .....	29
6.6.2	Haihduuttamo .....	30
7	SÄÄTÖPIIRIN RAKENNUS.....	31
7.1	Säätöpiirin rakennus.....	31
7.2	Vanha säätöpiiri .....	31
7.3	Lajittelun uudet annostelumallit .....	32

7.3.1	Boost-painike .....	32
7.3.2	Sekvenssitoiminnallinen määränlisäys .....	33
7.4	Uusi vaahdonestoaineen säätöpiiri tuotannon mukaan.....	35
	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET .....	37

## 1 JOHDANTO

Varkauden Stora Enson pakkauskartonkitehtaalla, kuitulinjan osastolla annostellaan vaahdonestoaine kemikaalia neljään eri vaiheeseen. Annostelu kohteina ovat kolme DD-pesuria (Drum displacer) ja lajittelunsyöttösäiliö. Vaahdonestoainetta annostellaan valvomopäätteen kautta siten, että operaattorit määrittävät kemikaalin annostelumäärän, joka määritellään g/adt. Vaahdonestoainetta on aina annosteltu hyvinkin suuria määriä ja sen kulutus on ollut merkittävää. Tämän seurauksena kemikaalikustannukset ovat vaahdonestoaineen osalta pysyneet aina korkealla ja varsinkin nyt maailmantilanteen vuoksi kustannukset ovat vain nousseet kemikaalien hinnan nostamisen vuoksi.

Nykytilanteessa annoksia ei juuri muuteta, mikä ylläpitää kemikaalikustannuksien korkeaa tasoa. Kuitulinjalla on myös tapahtunut viimeisen vuoden aikana merkittävä muutos massan pesemisen osalta. Aikaisemmin kuitulinjalla pesuvaiheen ensimmäisenä pesurina keittimen jälkeen toimi diffusööri. Ajan kanssa huomattiin, että diffusööri alkaa tulla elinkaarensa päähän ja sen korjauskustannukset olisivat niin merkittävät, että se päätettiin poistaa käytöstä ja korvata DD5090- pesurilla. Uuden pesurin ansiosta massasta tulee entistä puhtaampaa ja sen avulla pystytään myös vähentämään vaahdonestoaineen annostelua merkittävästi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on optimoida vaahdonestoaineen annostelua kuitulinjalla eri tuotantonopeuksille ja rakentaa sen mukaan säätöpiiri, joka ohjaa annosteltavaa määrää tuotannon mukaan. Opinnäytetyö toteutetaan siten, että prosessissa tehdään koeajot eri tuotantonopeuksilla ja etsitään jokaiselle tuotantonopeudelle oikea vaahdonestoaineen annostelu määrät, sekä tarkoituksena on löytää optimaaliset annostelumäärät eri annostelupisteille. Kun koeajot on saatu valmiiksi ja oikeat annostelu määrät on löydetty, aloitetaan säätöpiirin rakennus, joka säätää automaattisesti vaahdonestoaineen annostelua prosessiin tuotantonopeuden mukaan.

## 2 VARKAUDEN PAKKAUSKARTONKITEHDAS

Varkauden tehdas muodostaa monipuolisen biotuoteintegraatin, johon kuuluvat pakkauskartonkitehdas, saha ja LVL-tehdas. Pakkauskartonkitehtaaseen sisältyvät puunkäsittelylaitos, sellutehdas, kierrätyskuitulaitos ja paperikone 3 (PK3), joka valmistaa aaltopahvin pintakerroksia. Lisäksi pakkauskartonkitehdas vastaa integraatin energia-, ympäristö-, sisäisten kuljetusten ja turvallisuuspalveluiden hallinnasta. Kuvassa 1 on ilmakehu Varkauden pakkauskartonkitehtaasta.

Varkauden tehtaalla vuotuinen puunkulutus (mänty ja kuusi) on noin 2,3 miljoonaa kuutiometriä. Puunhankinta pääosin tapahtuu tehtaalla ympäristössä noin 100 kilometrin säteellä. Tehdas on oma-  
varainen energian suhteen, ja lämpö- ja voimalaitoksissa käytetään pääasiassa bio- ja kierrätyspolttoaineita energiatehokkuuden maksimoimiseksi ja fossiilisten hiilidioksidipäästöjen minimoimiseksi. Varkauden tehdasintegraatti työllistää noin 440 vakituista työntekijää tuotannossa ja kunnossapidossa. (Stora Enso 2023.)

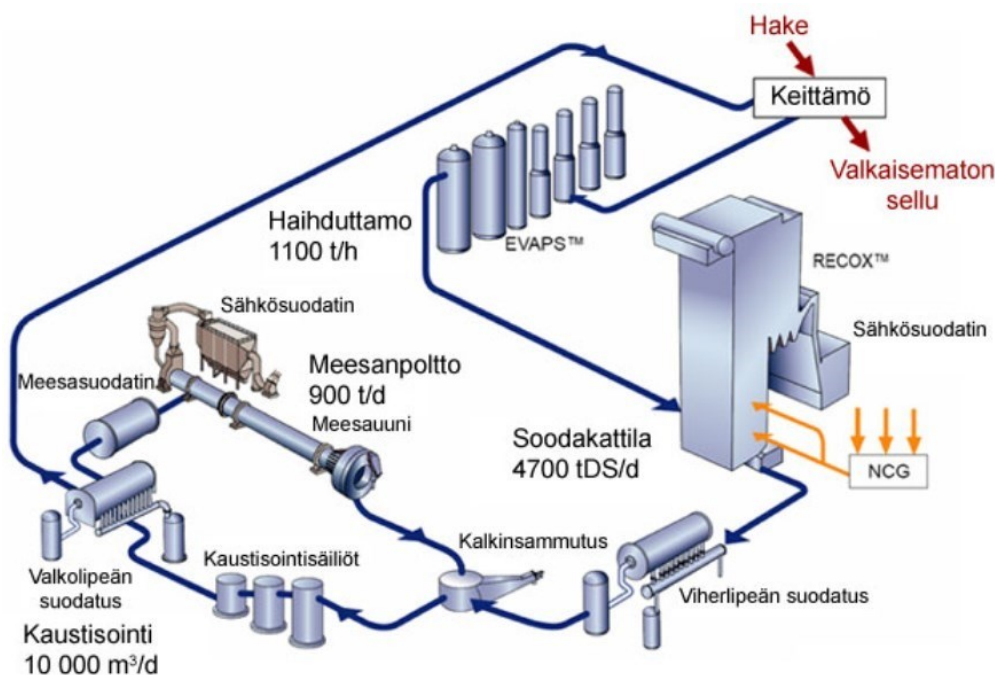


Kuva 1. Stora Enson Varkauden pakkauskartonkitehdas (Stora Enson sisäinen materiaali 2019)

### 3 SELLUTEHDAS

Sellutehdas ymmärretään yleisesti tuotantolaitoksena, jonka prosessissa valmistetaan sellua havu- ja lehtipuun hakkeesta. Monella tehtaalla sellua valmistavaa osastoa kutsutaan kuitulinjaksi. Sellua käytetään paperin, kartongin ja monen muun tuotteen valmistukseen.

Todellisuudessa sellutehdas on yksi iso kompleksi, joka koostuu kuitulinjasta, soodakattilasta ja kaustisoinnista (meesauuni). Kuva 2 kertoo sellutehtaan kemikaalikierrosta. On tärkeää, että sellutehdas ymmärretään kokonaisuutena, koska osastojen välillä on niin sanotusti jatkuva kemikaalikierto, joka halutaan säilyttää tasaisena ja toimintavarmana jokaisen prosessialueen laatuarvojen vuoksi. (KnowPulp 2024)



Kuva 2. Yleiskuva sellutehtaan kemikaalikierrosta (KnowPulp 2024)

#### 3.1 Puunkäsittely

Tehtaan puutoimitukset saapuvat yleensä ilman kuorta, ja ne voivat olla pituudeltaan 2–3 metriä tai vapaasti mitattuja 2–6 metrin rankoja. Kuljetus tapahtuu usein rekoilla tai junalla. Puut puretaan tehtaalle pyöräkuormaajan avulla, joko suoraan tuotantoprosessiin tai varastoon odottamaan käsittelyä. Kesällä saapuneet puut pyritään käyttämään mahdollisimman pian, yleensä noin kuukauden sisällä saapumisestaan. Ne varastoidaan lajikkeittain ja pidetään mahdollisimman tuoreina ennen prosessointia. Kesävarastointia varten puuta kastellaan säännöllisesti, mutta liiallinen kastelu tulisi välttää, koska se saattaa vahingoittaa puuta, esimerkiksi aiheuttaa värivaurioita. (Fardim 2011, 92; KnowPulp 2024.)

Kylminä kuukausina puut täytyy ensin sulattaa ennen kuorintaa. Tätä varten käytetään erityistä syöttökuljettimella varustettua laitetta, joka sulattaa puun kuoren ennen varsinaista kuorintaprosessia. Sulatus tapahtuu yleensä veden ja matalapainehöyryn avulla, mutta Suomessa höyrysulatusmenetelmää ei yleisesti käytetä. Sulatusvaiheessa käytetty vesi myös puhdistaa puun pinnan epäpuhtauksista. (KnowPulp 2024)

Puun kuorinta on merkittävä vaihe prosessissa, joka valmistaa massaa. Kuoren sisältämät kuidut eivät yleensä sovi massan valmistukseen, ja lisäksi kuori voi sisältää epäpuhtauksia, jotka häiritsevät prosessia. Kuori myös kuluttaa kemikaaleja, erityisesti keittovaiheessa ja valkaisu-prosessissa. Havupuissa noin 12–15 % puuaineksesta on kuorta, kun taas koivussa vastaava osuus on noin 15 %. Kuori irtoaa parhaiten kosteasta ja tuoreesta puusta, joten pitkät varastointiajat eivät ole suositeltavia, koska puu voi kuivua. Havupuun kuori irtoaa yleensä helpommin kuin koivun. Puut nostetaan pyöräkuormaajilla kuljettimelle suoraan kuljetuksesta tai varastosta ja syötetään kuljetinta pitkin sieltä suoraan kuorintarumpuun. (Seppälä ym. 1999, 24.)

Kuorittuja puita täytyy murskata pienemmiksi paloiksi, jotta kemikaalit voivat imeytyä niihin tasaisesti ja tehokkaasti. Murskauksen aikana tärkeintä on varmistaa lastujen sopiva paksuus. Mitä ohuemmat lastut ovat, sitä paremmin niihin voidaan imeyttää kemikaaleja, mikä taas parantaa valmiin tuotteen vahvuutta ja tuottoa. Lisäksi lastujen tulisi olla tasapaksuisia, jotta keitinvaiheessa ne kypsyvät samassa tahdissa ilman hävikkiä. Havupuun lastut ovat yleensä suurempia kuin lehtipuun, koska niissä on pidemmät kuidut. Havupuuhakkeen optimaalinen pituus on noin 25 mm ja paksuus 4 mm.

Jotta varmistetaan tasalaatuisten hakepalasten tuotanto, seulotaan murskatusta materiaalista liian suuret ja pienet palaset. Ylisuuret kappaleet lähetetään takaisin murskauskoneeseen, kun taas liian paksut palaset siirretään litistimiin. Oikean kokoiset lastut ohjataan sitten keitinvaiheeseen. Yleisin käytetty seulontamenetelmä on tasoseula, joka koostuu kolmesta pyörivästä reikälevystä, joita ohjaa epäkeskomekanismi. Hakkeen syöttö tasaiseen virtaan seulalle mahdollistaa hyväksytyjen palojen kulkeutumisen läpi, kun taas epäkelpoiset kappaleet ohjataan takaisin prosessointiin. (Fardim 2011, 124; Seppälä ym. 1999, 34.)

Haketta voidaan säilyttää joko ulkona suuressa kasassa tai erillisissä siiloissa. Kun hake varastoidaan ulkona, on tärkeää huomioida, että kasan lämpötila nousee suhteellisen nopeasti, noin 1–2 astetta joka vuorokausi. Kesäisin kasan sisäosa saattaa lämmitä jopa 65–70 asteeseen, kun taas talvella lämpötila voi olla noin 50 astetta. Pitkäaikainen varastointi voi johtaa lämpötilan nousuun, lähestyen syttymispistettä. Tämä johtuu mikro-organismien toiminnasta, ja se voi aiheuttaa merkittäviä materiaalihäviöitä. Korkeiden lämpötilojen myötä nämä mikrobit kuitenkin kuolevat pois. Lisäksi hapettuminen aiheuttaa suurta haittaa ainehäviöille. Mitä pidempi varastointiaika ja korkeampi lämpötila, sitä vähemmän sivutuotteita, kuten mäntyöljyä ja tärpähtiä, saadaan talteen. Jopa muutaman kuukauden varastointi voi vähentää näiden sivutuotteiden määrää merkittävästi. (Seppälä ym. 1999, 34.)

## 3.2 Kuitulinja

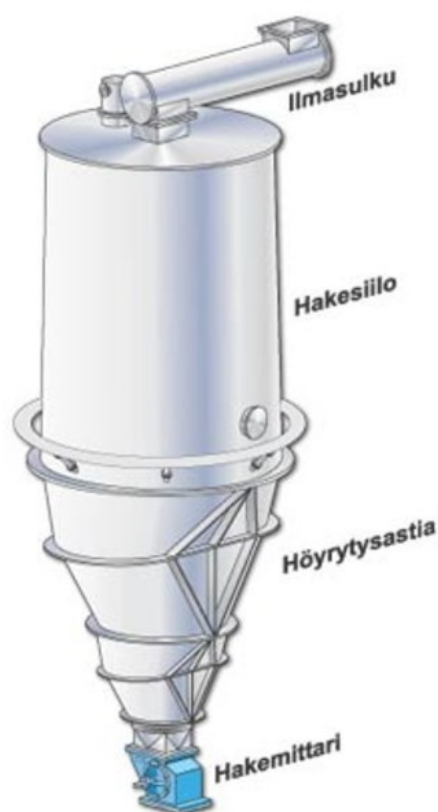
### 3.2.1 Hakkeen esihöyrytys

Esihöyrytyksen tarkoituksena on poistaa hakkeesta ilmaa ja kaasua, jotta keittonesteet saataisiin imeytymään hakkeeseen. Tunnetuin ilmanpoistomenetelmä on pasutus, missä haketta käsitellään höyryllä noin 1–1,4 bar ylipaineessa. Korkea lämpötila aiheuttaa ilman laajenemisen hakkeen sisällä, jolloin ilma pääsee poistumaan. Haketta pasutetaan 15–40 minuuttia. Pasutuksen kesto vaihtelee

prosessiteknisistä syistä. Vakaan keittotuloksen, hakkeen ominaispainon ja keittonesteidien imeytymisen takia on tärkeää, että pasuttaminen on tehty huolella ilman ja kaasujen poistamiseksi. Epäonnistunut pasutus voi johtaa hakkeen kellumiseen imeyttimessä ja keittimessä.

Hake voidaan pasuttaa joko hakesiilossa tai vaihtoehtoisesti hakesiilon jälkeisellä ruuvikuljettimella, jota kutsutaan myös pasutusastiaksi. Kuvassa 3 esimerkki hakesiilosta. Lämmityksessä voidaan käyttää matalapainehöyryä, paisuntahölkää tai kiehutin höyryä. Höyry ja kaasu poistetaan pasutusastista hakkeesta vapautuneiden ilman ja tärpättikaasujen vuoksi. Höngät johdatetaan hönkälauhduttimelle, josta ne virtaavat laimeiden hajukaasujen käsittelyyn.

Pasutuksen jälkeen hake valuu siilosta painovoiman avulla hakemittarille tai hakkeensyöttöruuville, josta käytetään myös nimitystä ruuvihakemittari. Tämän jälkeen hake siirtyy hakeputkeen, missä siihen sekoitetaan keittoliipeää, jonka jälkeen se pumpataan hakepumpuilla tai korkeapaine-kiikillä imeyttimeen. (KnowPulp 2024)



Kuva 3. Modernin vuokeittämön hakesiilo, joka toimii pasutusastiana (KnowPulp 2024)

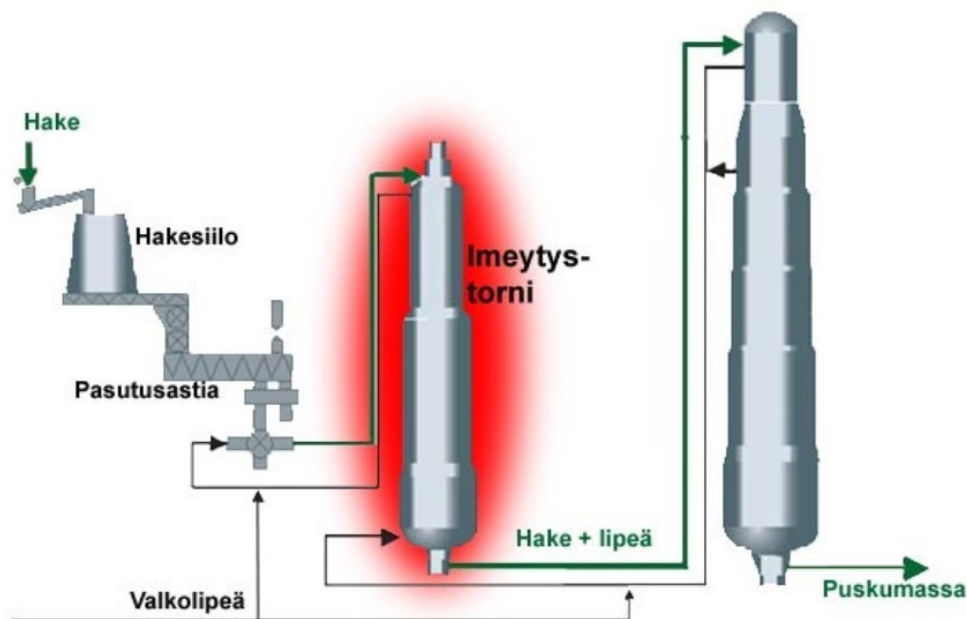
### 3.2.2 Imeytys ja keitto

Imeytysprosessin aikana on tarkoitus kyllästä hake keittokemikaaleilla ennen todellista keittoreaktion alkamista. Yleisesti imeyttäminen tapahtuu keittimen paineessa, joka on noin 10–15 bar tasolla ja tyypillisesti lämpötila on noin 100–140 °C. Korkean paineen tarkoituksena on parantaa penetraatiota, koska hakkeessa sijaitsevat huokokset turpoavat ja ilma, joka on mahdollisesti jäänyt hakkeeseen, puristuu kokoon. Korkean lämpötilan ansiosta keittoliipeän viskositeetti laskee ja imeytyminen nopeutuu. Liian korkea lämpötila saattaa myös aiheuttaa ongelmia ja sen nostaminen liian korkeaksi

saattaa nopeuttaa keittoreaktiota, eikä imeytyminen ole kerennyt tapahtua vielä kokonaan hakepalan.

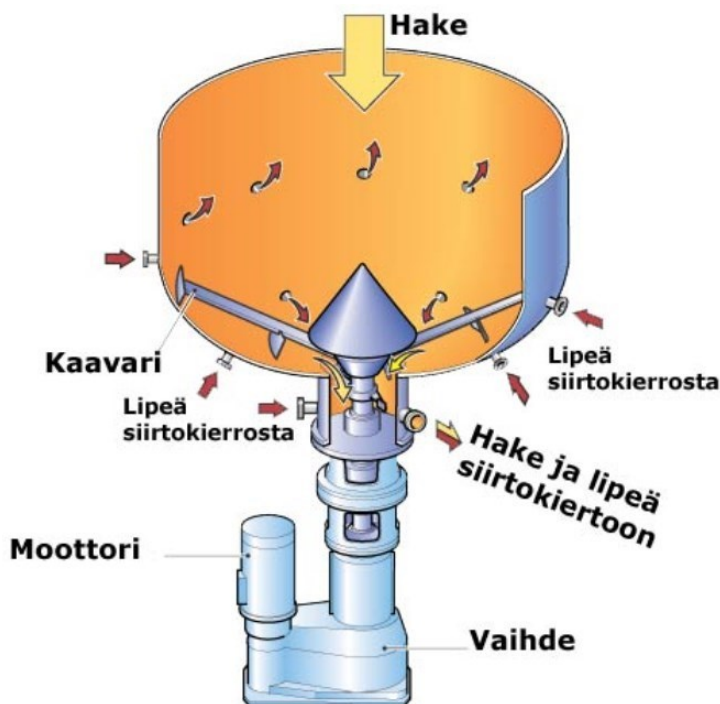
Yleisesti imeytyksessä viiveaika on 30–60 minuuttia, joka riippuu täysin keitintyyppistä ja puulajista. Kaksiastiakeittimen imeytysaika on tyypillisesti pidempi. Puulajeista havupuu tarvitsee pidemmän imeytymisajan toisin kuin lehtipuu. Imeytymiseen vaikuttaa myös hakepalan koko.

Kuvassa 4 on esimerkki kaksiastiakeittimestä, jonka prosessissa käytetään erillistä imeytystornia. Kaksiastiakeittimen imeytystorni toimii keittimen paineella ja 100–140 °C lämpötilassa. Imeytystornissa ei käytetä lipeän kierrätystä, jolloin lipeä kulkee myötävirtaan hakkeen seassa. (KnowPulp 2024)



Kuva 4. Imeytin ja sen sijainti prosessissa (KnowPulp 2024)

Imeyttimen keskiosan ja pohjan välillä on sihtivyöhyke, jolla voidaan säätää painetta. Hake puretaan imeytystornista pohjakaavarin avulla, laimennetaan lipeällä ja syötetään keittimen huippuun. Kuvassa 4 esimerkki pohjakaavarista. Tämän prosessin avulla saadaan tehokas imeytyminen 60 minuutin imeytysajalla. Tästä on suuri hyöty varsinkin mustaliipeäimeytyksessä tai havupuuta keitettäessä.



Kuva 5. Keittimen pohjakaavari ja lipeävirtaukset (KnowPulp 2024)

On olemassa myös erilaisia versioita jatkuvasta keittomallista, joissa hake imeytetään mustalipeällä. Tarkoituksena on nostaa sulfiditeetti imeytymisvaiheessa korkealle tasolle, jotta saanto ja massan ominaisuudet paranisivat, sekä käyttää paisuntalipeän korkeaa alkaliteettiä mahdollisimman paljon hyväksi.

Mustalipeäimeytyksestä on myös paljon etuja, koska sen avulla saadaan keittolämpöä talteen, jonka avulla taas vähennetään lämmitykseen käytettävän höyryn tarvetta keitossa. Kääntöpuolena taas poistuva lipeä menettää mahdollisesti lämpöä, joka aiheuttaa pasutuksessa enemmän tuorehöyryn käyttöä. Mustalipeä imeytykseen tarvitaan myös toisenlainen lipeäkierto, jonka takia se on haastavampi hallita. Prosessi tarvitsee myös enemmän aikaa verrattuna valkolipeäimeytykseen ja mustalipeä on vaihdettava imeytysprosessin jälkeen valkolipeään. Valkaisua ajatellen alkaliteetti ei saa laskea liian matalalle tasolle, koska se aiheuttaa liuenneen ligniinin saostumisen hakkeen pinnalle.

Jatkuvatoimisessa keittoprosessissa sellun keittämisen aikana ilmenevät reaktiot tapahtuvat ainoastaan yhdessä keitinastiassa. Hake syötetään keittimen huippuun, josta se lähtee painumaan keittimen pohjaa kohti. Keittimessä kierrätetään kuumaa keittolipeää, jota hyödynnetään hakkeen keittymisessä selluksi ennen kuin se saavuttaa keittimen alaosan.

Keitin sisältää tyypillisesti useita sihtikiertoja, joiden läpi imetään lipeää. Pumpuilla se ajetaan lämmönvaihtimille ja takaisin keittimen sisällä sijaitsevaan keskusputkeen. Sihtien läpi virtaavaa lipeää pumpataan myös haihduttamolle, eikä se pala enää keittimeen. Keitinastian sisällä lipeäneste voi virrata samaan suuntaan kuin hake, mutta sitä ajetaan myös vastavirtaan. Lipeän vasta- ja myötävirtauksia saadaan säädettyä virtaussäätimien avulla ja niitä säädellään keittoprosessin käyttäytymisen perusteella. Erilaisia virtauksia pystytään hyödyntämään sen takia, koska hakepalojen välissä on yleensä tyhjää tilaa.

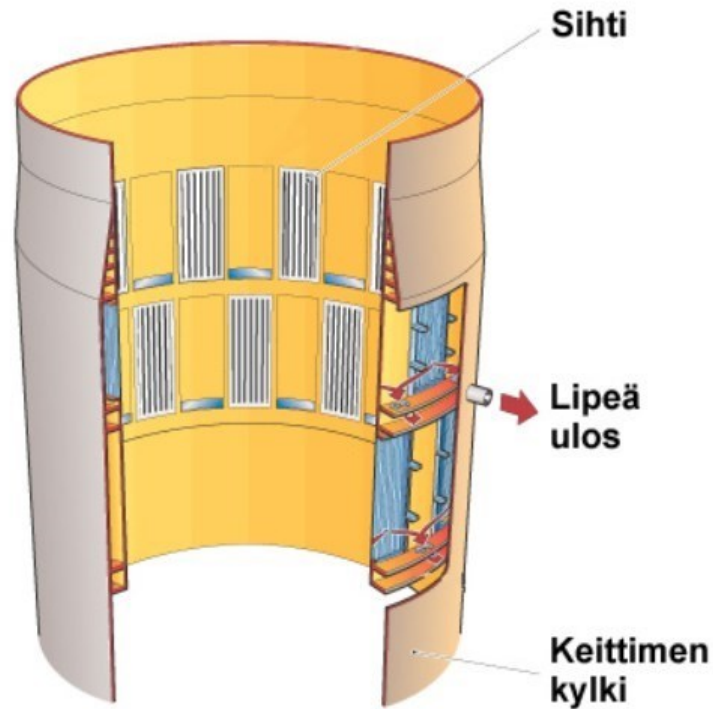
Massan saannon, ominaisuuksien ja energiatalouden parantamisen vuoksi, jatkuvatoimisen keittomallin alkali- ja kuiva-aineprofilia on kehitetty parempaan suuntaan. Keittovyöhykkeen jatkamisen ja keittimen pesuvyöhykkeen lyhentämisen on mahdollistanut lipeän madaltunut kuiva-aineiden määrä keitto- ja imeytysvaiheessa. Tämän ansiosta keittoprosessia ei tarvitse suorittaa niin suuressa lämpötilassa ja näin ollen massan ominaisuudet ovat parantuneet. Muutoksilla ei ole ollut vaikutusta h-tekijään.

Nykyiset keitinmallit ovat lyhentyneet ja leventyneet. Keitintä leventämällä on mahdollistettu suurempi tilavuus, joka tuo lisää keitto- ja pesukapasiteettia. Muutoksella on myös saavutettu keiton virtauksille lisää viivettä ja tuotantoa. Keittimiä on haluttu lyhentää sen takia, koska korkeat keittimet pakkaavat haketta keittimen pohjalle, yläosassa sijaitsevien hakepatsaiden takia, koska ne ovat liian painavia ja aiheuttavat hydraulista kuormaa pohjalle. Pakkaaminen aiheuttaa ongelmia hake- ja lipeävirtauksille.

Keittoprosessissa massa pestään korkeissa lämpötiloissa, sekä paineessa. Suuret lämpötilat muuttavat liuenneiden orgaanisten aineiden viskositeetin alhaiseksi ja liukenevat näin ollen paremmin irti massasta jo keitin pesun aikana, verrattuna pesemöön. Onnistunut keitinpesu on verrattavissa pesutehokkuudeltaan kolmeen pesusuotimeen.

Keitinpesun tarkoitus on estää massan sisältämän jäännösalkaalipitoisen lipeänesteen päätyksen pesemölle, sekä toimia jäähdyttävänä toimenpiteenä ennen kuin massa siirtyy puskuun. Massan lujuuden kannalta matala puskunlämpötila on välttämätön.

Keittimen pohjaan syötetään pesemöltä saapuvaa suodosta. Suodos jäähdytetään lämmönvaihtimien avulla noin 70–90 °C lämpötilaan. Suodos pumpataan korkeapainepumpuilla keittimien pohjasta ylöspäin, jolloin keittimeen pääsee syntymään vastavirtaus, joka pesee ja jäähdyttää massaa. Keittimen alimmilla sihdeillä, keskusputkesta virtaava pesukierron lipeä syrjäyttää kylmempää pesulipeää ja työntää sitä sihdeille. Kuvassa 6 esimerkki sihdeistä. Sihtien läpi imetty lipeä pumpataan lämmönvaihtimille, jossa se lämmitetään 130 °C-asteeseen ja sen jälkeen se virtaa keskiputkesta sihtien tasolle. Lämmitetty pesulipeä siirtää tieltään viileämmän lipeän ja virtaa vastakkaiseen suuntaan kohti ylempää sihtivyöhykettä. Sieltä se poistuu joko keittokierron tai paisunnan kautta riippuen käytetystä keitinratkaisusta. Pesuprosessin aikana lipeään voidaan lisätä alkalia, jotta jäännösalkalitaso pysyy riittävänä. (KnowPulp 2024)

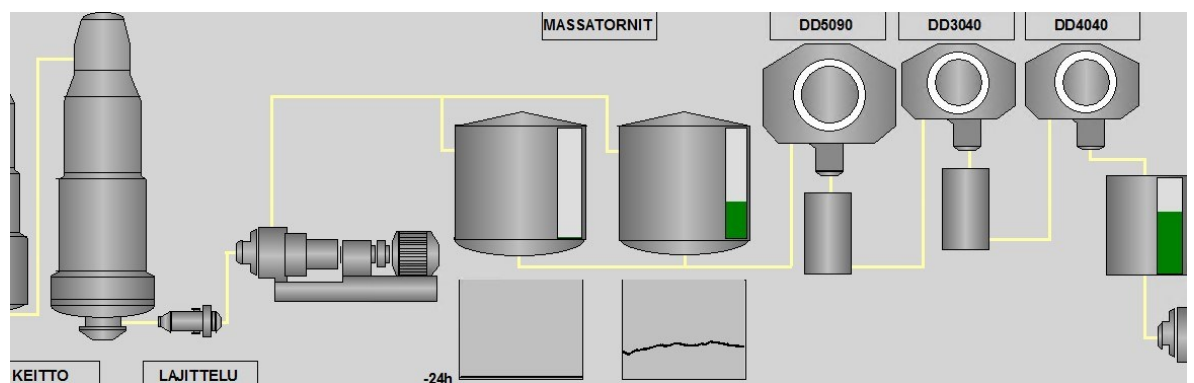


Kuva 6. Keittimen sihtien sijoittelu (KnowPulp 2024)

### 3.2.3 Pesu ja lajittelu

Massanvalmistuksessa pesu on kaikista yleisin yksikköprosessi. Pesuprosessin tarkoituksena on erottaa massa liuenneita aineita. Voidaan siis sanoa, että keitto- ja happivaiheen jälkeen massa pestään ja massan lajittelu pystytään sijoittamaan eri kohtiin pesu- ja happivaihetta ajatellen.

Pesuvaiheita voidaan kytkeä sarjaan, niin kuin kuvassa 7, jolloin saadaan tehokkaampi pesutulos. Yleisesti pesulaitteisto kytketään vastavirtaan, jolloin eri pesuvaiheiden käytetty suodos voidaan hyödyntää seuraavassa pesuvaiheessa. Hyvin yleisesti likainen suodos pumpataan keitinpesun jälkeen haihduttamolle.

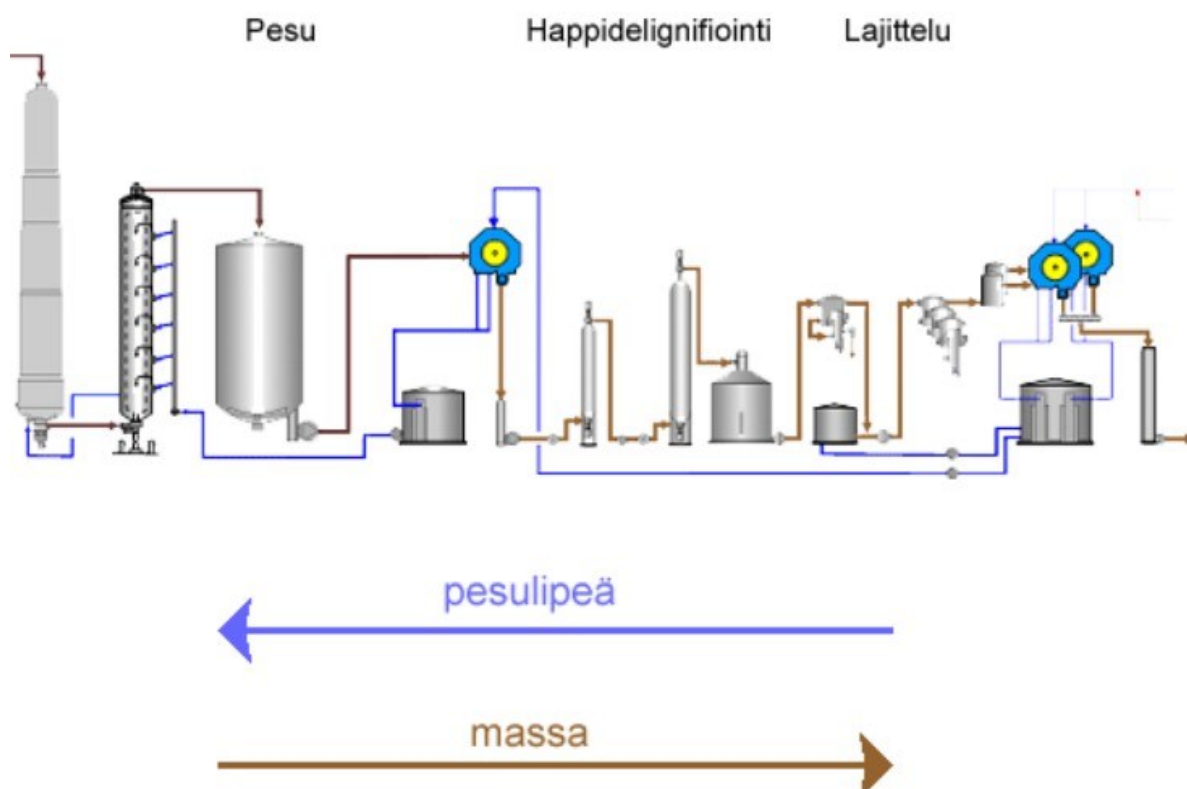


Kuva 7. Sarjaan kytketyt DD-pesurit (Stora Enso 2025)

Erä- ja jatkuvatoimisissa keitinratkaisuissa on molemmissa yleensä yksi pesuvaihe, joka tehdään keittovaiheen jälkeen keittimen pohjan alueella ja sitä kutsutaan keitinpesuksi. Keitinpesun tarkoituksena johtaa pesuneste eli suodos keittimen pohja-alueen kautta sisään ja poistaa se keittimestä sihtien avulla sen jälkeen, kun se on kulkenut keittimessä ylöspäin vastavirtaan. Tätä kutsutaan syrjäyttämiseksi.

Pesu-, lajittelu- ja valkaisu vaiheen jako on muuttunut, kun suodoskiertoja on suljettu. Kuitulinja voidaan ajatella tämän hetkellä prosessimallillaan sarjaksi delignifointivaiheita, eli prosessiksi, jossa poistetaan ligniiniä massasta useassa eri vaiheessa. Ruskeaa massaa pestessä pesu toteutetaan vastavirtapesuna. Vastavirtapesun tarkoituksena on tuoda puhdas pesuvesi viimeiseen pesuvaiheeseen ja likainen pesuneste poistetaan ensimmäisessä vaiheessa, josta se pumpataan haihduttamolle. Kuvassa 8 on havainnollistettu massan ja pesuveden virtaussuunnat.

Vedenkäyttöä ajatellen pesu- ja lajitteluprosessia tulisi ajatella kokonaisena osaprosessina, koska vedenkäyttöä ja sakeuksien hallintaa on pidettävä yhtenä kokonaisuutena.



Kuva 8. Massan ja pesulipeän virtaukset (KnowPulp 2024)

Keittovaiheen jälkeen ruskeamassa täytyy pestä ja lajitella ennen kuin se voidaan lajitella. Massan lajitteluun kuuluu oksanerotus, jota kutsutaan karkealajitteluksi ja lajittelu, jossa puunkuidut hienolajitellaan.

Hyvin yleisesti massankäsittelyn ensimmäinen lajitteluvaihe on oksanerotus. Oksat täytyy erottaa massavirrasta ennen ensimmäistä pesuvaihetta tai pesuvaiheiden välissä. Karkealajitteluun, eli oksanerotukseen kuuluu oksanerotus ja oksapesurit. Oksaerottimelta rejektimassa virtaa oksapesurille, jossa hyväksytty kuitu, eli akseptimassa erotellaan rejektin seasta ja palautetaan takaisin päämassavirtaan.

Oksanerotuksen tehtävä on erotella päämassavirrasta pois suuret epäpuhtaudet, jotka eivät ole puuperäisiä tai ovat kuituuntumattomia kuitukimppuja, sekä nappulaoksat ja hakepalat. Sen toisena tehtävänä on myös pestä akseptikuitu irti rejektimassasta.

Usein oksapesurin jälkeen tehdään hiekanerotus. Karkeahiekka poistuu massavirrasta oksaerottimen rejektin mukana pois prosessista, mutta hiekka pääsee usein kuitujen mukana akseptin joukkoon. Tämän takia hiekanerotin on sijoitettava oksapesurin akseptilinjaan, jolloin suurin osa hiekasta saadaan poistettua akseptin joukosta.

Oksien määrä riippuu pääasiassa käytetystä raaka-aineesta, mutta myös keittoprosessi ja lopputuotteen laatuvaatimukset vaikuttavat erotettavien karkeajakeiden määrään. Viime vuosina ylipaksun hakkeen osuus on vähentynyt haketuksen ja hakkeen paksuusseulonnan parantuessa. Tämä kehitys, yhdessä matalakappakeiton käytön kanssa, on merkittävästi vähentänyt oksajakeen osuutta verrattuna perinteisiin menetelmiin. Mäntysulfaattimassoissa oksanerotuksessa poistettavan jakeen osuus on yleensä 1–3 % koko massavirrasta, kun taas koivumassalla se on yleensä pienempi.

Oksanerotuksessa massasta poistettu karkeajae voidaan käsitellä eri tavoin: hävittää, palauttaa keittoon tai kuiduttaa ja käyttää kartongin raaka-aineena. Useimmiten oksat ohjataan takaisin keittoon. Rejektin kuidutuksen tavoitteena on irrottaa kuidut kimpuista. Nappulaoksat voidaan myös kuiduttaa vapaiksi kuiduiksi, mutta ne ovat lyhyempiä ja laadultaan heikompia kuin muut kuidut.

Kun oksat on erotettu, massa lajitellaan tikkujen poistamiseksi ja tätä vaihetta kutsutaan usein hienolajitteluksi. Ennen lajittelua massa saattaa joissain tapauksissa saostua edeltävällä pesurilla, varastoida ja laimentaa. Lajittelu tapahtuu suhteellisen alhaisessa sakeudessa (2–4 %), ja lajittelun jälkeen massa saostetaan yleensä uudelleen (sakeuteen 10–15 %) valkaisua tai välivarastointia varten.

Nykyisin hienolajittelun päälinjan laitteina toimivat kaskadikytketyt painelajittimet useassa vaiheessa. Lajittelun tarkoituksena on siirtää massassa vielä olevat epäpuhtaudet rejektinkäsittelyyn. III- tai IV-portaan rejekti poistetaan prosessista joko rejektipesurin tai puristuksen kautta, ja rejektipesurin rejekti voidaan puristaa ruuvipuristimella. Hieno hiekka erottuu jo painelajittimilla, joten hiekanerotin sijoitetaan yleensä viimeisen lajittimen jälkeen ennen rejektipesuria.

Kun massan puhtausvaatimukset ovat korkeat, ensimmäisen portaan lajitin puhdistaa massan halutulle tasolle korkean rejektisuhteen avulla, mikä voi johtaa merkittävään osaan priimakuitua päätyvän rejektiin. Seuraavien vaiheiden tavoitteena on poistaa kuituja ensiövaiheen rejektistä mahdollisimman tarkasti kuituhäviön minimoimiseksi. Rejektivirrasta erotetut kuidut palautetaan edellisen vaiheen syöttöön tai päämassavirtaan.

Hienolajittelun rejekti koostuu pääasiassa pitkistä ja jäykistä kuiduista, kuitukimpuista ja tikuista. Nykyisin on yleisesti luovuttu rejektin muokkauksesta prosessissa käytettävään muotoon. Rejekti voidaan kuitenkin jauhaa ja lajitella, jolloin jauhetun rejektin lajittelussa saatu aksepti voidaan palauttaa prosessiin. Karkearejekti voidaan myös lähettää oksien kanssa uudelleen keittoon. Uusimmissa prosessiratkaisuissa on hyödynnetty happivaiheen delignifioivaa vaikutusta palauttamalla lajitamon rejekti kuiduista pois pesun jälkeen happivaiheeseen uudelleen kuidutettavaksi, jolloin vain hiekanerottimien rejekti poistetaan prosessista. (KnowPulp 2024)

### 3.3 Haihduttamo

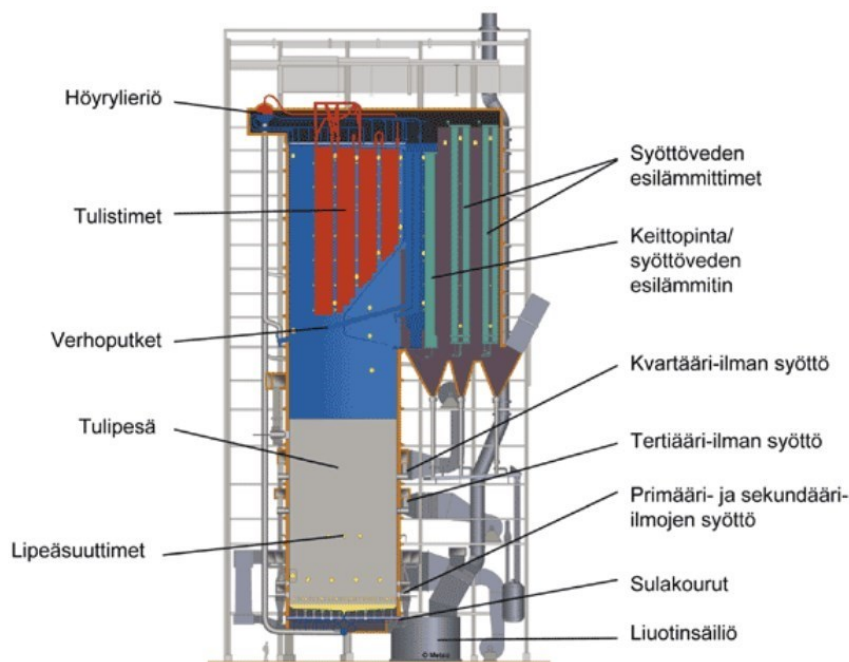
Haihduttamon ensisijainen tarkoitus on poistaa mustalipeän ja siihen sekoitettujen lisävirtojen seasta vettä, eli toisin sanoen haihduttaa vesi pois ja ottaa talteen puusta liuenneet orgaaniset aineet (lämpöenergia) ja epäorgaaniset aineet (keittokemikaalit). Vedenpoiston ohessa pitää kiinnittää huomiota myös haketta keitetessä syntyvien sivutuotteiden keräilyyn ja talteenottoon. Tärkeimmät talteen otettavat sivutuotteet ovat tärpätti, metanoli ja suopa, joista tärpätti keräillään keiton lauheteista.

Keittovaiheen jälkeen ruskea sellumassa pestään pesemön eri pesuvaiheissa ja niiden tarkoituksena on erottaa mustalipeä massan seasta. Pesuvaiheen jälkeen haihduttamolle mentäessä, mustalipeää kutsutaan yleisesti pesulipeäksi, paisuntalipeäksi, laihalipeäksi tai laihamustalipeäksi. Hyvin yleisesti mustalipeälle käytetään eri nimityksiä pesemön ja soodakattilan välillä, koska eri nimityksillä saadaan hyvin havainnollistettua mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta tai aluetta missä mustalipeä on prosessissa.

Prosessista ja puulajista riippuen pesulipeän kuiva-aine on yleisesti 15–16 %. Hyvin yleisesti pesulipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan ennen haihduttamoa 18–22 %, johon käytetään apuna vahvistuslipeää, joka otetaan haihduttamon II-vaiheesta. Tämän jälkeen mustalipeästä käytetään termiä syöttölipeä eli lipeä, joka on valmis syötettäväksi haihduttamolle. Haihduttaminen tapahtuu höyryn avulla. Kun haihdutus vaiheessa päästään 25–35 % kuiva-ainepitoisuuteen, niin lipeästä aloitetaan suovanerotus. Suopa erotetaan yleisesti välilipeästä. Haihduttamolta lipeä syötetään soodakattilan sekoitussäiliölle. Ennen kuin lipeä syötetään soodakattilaan poltettavaksi, se täytyy konsentraattoreilla vielä väkevöittää. Väkevöintiä ennen lipeää kutsutaan vahvamustalipeäksi. Kun vahvamustalipeä on väkevöity, niin sen kuiva-ainepitoisuus on noin 80 %, jolloin sitä voidaan kutsua polttolipeäksi, joka on valmis poltettavaksi soodakattilassa. (KnowPulp 2024)

### 3.4 Soodakattila

Soodakattila on rakenteeltaan luonnonkiertokattila, joka on suunniteltu mustalipeän polttoon ja sen sisältämien kemikaalien talteenottoon. Kuvassa 9 kerrotaan soodakattilan osien sijainteja, sekä esitetään sen rakennetta. Olennainen osa soodakattilaa on haihduttamo, jossa mustalipeä saadaan muutettua poltettavaan muotoon. Soodakattila tuottaa myös höyryä, jota syntyy mustalipeän polton yhteydessä. Höyryä jaetaan tehtaan eri prosesseihin, sekä soodakattilan omiin toimintoihin esimerkiksi nuohoukseen. Yleisimmin soodakattiloiden höyrynpaineet ovat alle 100 baaria. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2010)



Kuva 9. Soodakattilan osat ja rakenne (KnowPulp 2024)

Soodakattilan prosessissa tarkoituksena on energian ja keittokemikaalien talteenotto mustalipeästä. Mustalipeässä on orgaanisia ja epäorgaanisia aineita, jotka on erotettava toisistaan. Orgaanisia aineksia ovat ligniini, selluloosa ja hemiselluloosa, sekä muut puun luonnolliset komponentit, jotka liukenevat mustalipeään. Pääasiassa epäorgaanisia aineksia ovat keittokemikaalit ja muut mineraalit. Tärkeimpiä epäorgaanisia aineksia ovat: natriumhydroksidi ( $\text{NaOH}$ ) ja natriumsulfidi ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), joita käytetään keittoprosessissa, sekä keiton aikana muodostuvat natriumkarbonaatti ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ja natriumsulfaatti ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Palava aines on tarkoitus polttaa soodakattilassa ja siitä vapautuvalla energialla tuotetaan höyryä, jolla taas tuotetaan turbiineiden avulla sähköä. Kemikaaleja sisältävä epäorgaaninen palamaton osa jää tuhkaan ja se poistuu sulana kattilasta, kun lämpötila on riittävän korkealla.

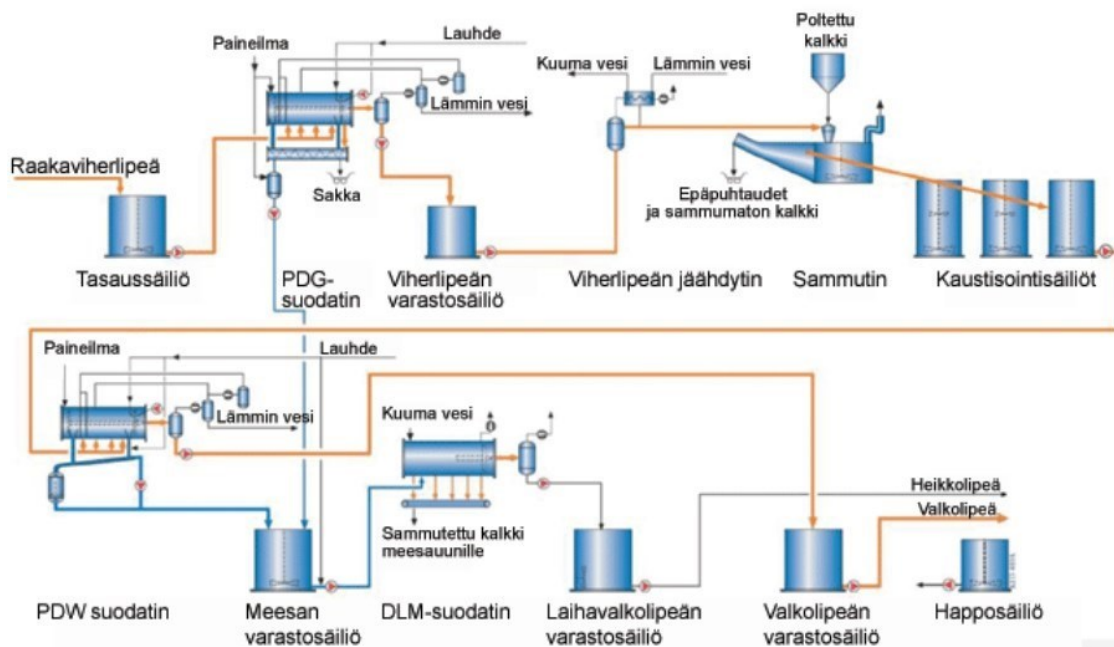
Epäorgaaniset aineet, jotka ovat muuttuneet sulaksi kattilan pohjalle otetaan talteen. Sula aines vaaluu sulakouruja pitkin liuottajaan, jossa se sekoitetaan veteen, jolloin siitä muodostuu viherlipeää.

Polttolipeä on nestemäistä ja sitä käytetään soodakattilalla polttoaineena. Mustalipeä täytyy esilämmittää  $100\text{--}120\text{ }^\circ\text{C}$ :n, jotta se voidaan ruiskuttaa tulipesään lusikkasuuttimien läpi. Suuttimien tarkoituksena on levittää virtaava neste pisaroiksi suuttimen päässä olevan levyn avulla. Pisarakokoa voidaan muuttaa mustalipeän viskositeettiä muuttamalla. Suuttimet sijaitsevat usean metrin korkeudessa kattilan pohjasta ja ne sijoitetaan kattilan eri sivuseinille. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2010)

### 3.5 Kaustisointi

Kaustisointi on olennainen osa kemikaalikiertoa, joka kuuluu niin sanottuun kalkkikiertoon. Kalkkia käytetään apukemikaalina, joka muuttaa soodakattilasta tulevan viherlipeän valkolipeäksi.

Kun mustalipeää poltetaan soodakattilassa, syntyy epäorgaanisia polttotuotteita, kuten natriumkarbonaattia ja natriumsulfidia. Nämä kemikaalit valuvat sulana kattilan tulipesän pohjalle. Sulfaattikei-ton aktiivisia kemikaaleja ovat natriumhydroksidi ja natriumsulfidi. Prosessi, jossa natriumkarbonaatti muutetaan natriumhydroksidiksi, tunnetaan kaustisointina. Tämän vuoksi valkolipeän valmistuksen prosessiosastoa kutsutaan yleisesti kaustistamoksi.



Kuva 10. Kaustisointi esimerkki (KnowPulp 2024)

Kaustisointi koostuu useista osaprosesseista. Ensimmäinen vaihe on sulan liuotus laihavalkolipeään. Viherlipeän käsittelyn tarkoituksena on poistaa siitä sakka joko selkeyttämällä tai suodattamalla. Ennen sakan poistoa viherlipeä pumpataan liuottajalta tasaussäiliöön, jossa virtauksen, tiheyden ja lämpötilan vaihtelut tasoittuvat. Ennen sammuttimeen viemistä viherlipeän tiheys ja lämpötila säädetään halutuiksi.

Sakan pesussa viherlipeästä erotetusta sakasta otetaan natrium talteen. Sakan erotuksen jälkeen viherlipeä pumpataan kalkin sammuttimeen, johon lisätään poltettua kalkkia ( $\text{CaO}$ ). Tämä kalkki sammuu viherlipeässä olevaan veteen muodostaen sammutettua kalkkia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ).

Kaustisointisäiliöissä sammutettu kalkki ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) reagoi viherlipeän natriumkarbonaatin kanssa, jolloin syntyy keitossa tarvittavaa natriumhydroksidia. Kaustisoinnin jälkeen valkolipeä sisältää kaustisointireaktion aikana syntyneitä kalsiumkarbonaattia eli meesaa, joka erotetaan selkeyttämällä. Erotettu meesaa pestään ja viedään meesanpoltoon, jossa se muutetaan kalsiumoksidiksi ( $\text{CaO}$ ), joka kalkin sammutuksessa muuttuu jälleen kalsiumhydroksidiksi ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). (KnowPulp 2024)

## 4 VAAHDONESTOAININE

Prosesseissa, joissa sulfaattisellun valmistuksen raaka-aineena käytetään havupuuta, syntyy merkittävä määrä vaahtoavia tuotteita, esimerkiksi natriumsaippuonia, joita kutsutaan suovaksi. Kun keittovaiheessa hake keitetään alkalisissa olosuhteissa, se aiheuttaa puuaineksen kuituja sitovan ligniinin ja uuteaineiden liukenemisen/poistumisen. Ligniini ja uuteaineet ovat nesteessä todella pinta-aktiivisia ja ne aiheuttavat sellun pesussa, sekä lajittelussa isoja ongelmia voimakkaan vaahtoamisen vuoksi. Vaikka useissa keittomalleissa puuaines pestään ensimmäisen kerran jo keittimen pohjassa sijaitsevalla vastavirta pesuilla, se ei siltikään estä ligniinin ja uuteaineiden pääsyä massanpesu- ja lajitteluvaiheisiin.

Vaahdonsyntymisen estämiseksi on kehitetty useita erilaisia apuaineita, jotka auttavat varmistamaan prosessin toimintavarmuutta. Vaahdonestoaineet jaetaan kahteen eri alueeseen niiden hyötyjen vuoksi.

- Ensimmäinen tarkoitus on degassing, eli vaahtoamisen estäminen, kun vesi-massaseoksessa olevaa ilmaa halutaan poistaa ennen kuin se syntyy näkyväksi pintavaahdoksi.
- Toinen tarkoitus on defoaming, eli vaahdon torjunta, jossa nesteen pinnalle jo syntyynyttä vaahtoa halutaan hajottaa.

Kumpaakin termiä käytetään toimintamekanismia erottelemalla. (KnowPulp 2024.)

### 4.1 Vaahtoaminen

Nesteen alkaessa vaahtomaan, se vaatii sekaansa kuplan eli pienen kaasuhiukkasen ja liuenneen ainesosan. Nesteen, kaasun ja liuenneen ainesosan sekoitus aiheuttaa vaahdosta pysyvän haitan nesteen pinnalle. Kun vaahtoa pääsee syntymään, se tarkoittaa, että liuenneet ainesosat on pintaaktiivista ja ainesosa pääsee tiivistymään kaasu-neste- rajapinnoille, joka aiheuttaa pintajännityksen alentumista nesteessä. Nesteen pintajännityksen alentuminen tekee vaahdon syntymisestä helpompaa. Eli nesteeseen syntyy useita pieniä kaasutaskuja, joita ympäröi nestekalvo ja ne aiheuttavat vaahtoamista päästessään vapaaseen tilaan.

Sellun eli ruskeanmassan valmistuksen pesuvaiheissa vaahdonmuodostumiseen vaikuttaa tyypillisesti mustalipeän viskositeetti, sekä pintajännitys. Vaahdonmuodostumisessa ja sen pysyvyydessä on myös hyvä huomioida asioita kuten konsentraatio. Karkeasti sanoen voidaan todeta, että lämpötilan nousu lisää vaahtoamista, kun pH pudotetaan alle 7,5 se vähentää vaahdonsyntyä.

Vaahtoamiseen ja sen syntymiseen voidaan vaikuttaa myös mekaanisesti ja kemiallisesti. Kun prosessiin hankitaan uutta laitteistoa tai vanhaa muokataan, sen suunnittelu ja oikeanlainen mitoitus ovat hyviä esimerkkejä mekaanisesti syntyvän vaahdon torjunnasta, koska monet prosessiratkaisut vaikuttavat massan ilmapitoisuuteen. Säiliöissä voidaan esimerkiksi käyttää vesisuihkuja, jotka rikkoivat vaahdon. (KnowPulp 2024.)

## 4.2 Vaahdonestoaineet

Vaahdonestoaineet voidaan jakaa neljään pääryhmään niiden koostumuksen vuoksi. Niissä käytetään vaikuttavina aineina alifaattisia mineraaliöljyjä, rasvahappoestereitä ja -amideja, parafiineja, sekä etyleeni- ja propyleenioksidien yhdisteitä.

- Öljypohjaiset vaahdonestoaineet, jotka voivat olla mineraali-, kasvi- tai silikoniöljyä. Joskus öljypohjaisia vaahdonestoaineita kutsutaan myös öljyvapaiksi aineiksi, mikä viittaa niiden kasvi- ja silikonipohjaisiin vaihtoehtoihin.
- Silikoniöljy-vesi-emulsio eli vaahdonestoaine aine, johon on sekoitettu vettä. Termiä emulsio käytetään, koska nesteet eivät muodosta toistensa kanssa homogeenistä seosta, vaan emulsio täytyy saada aikaan sekoittamalla ne keskenään.
- Vesipohjaiset vaahdonestoaineet, joita käytetään lähes aina paperiteollisuudessa. Vesipohjaiset vaahdonestoaineet ovat orgaanisten happojen tai vaihtoehtoisesti rasva-alkoholien vesiemulsioita.
- Geelipartikkeli vaahdonestoaineet ovat sisällöltään hydrofiilisiä rasvahappodispersioita. Aine reagoi prosessissa olevien kationien kanssa, esimerkiksi kalsiumionien ja ne muodostavat reagoidessaan hydrofobisia aineksia, jotka rikkovat vaahtoa.

Prosesseissa käytetään eniten silikonipohjaista vaahdonestoainetta, koska se on tehokkaimmillaan korkeilla lämpötila- ja pH- alueilla. Silikonipohjaisella vaahdonestoaineella on myös haittapuolensa, koska se muodostaa uuteaineiden kanssa kasaumia ja riskinä on, että kasaumat tarttuvat laitteistojen pinnoille tai sitten ne adsorboituvat suoraan kuituun, eli silikoni kulkeutuu massan mukana kartonki- tai paperikoneelle ja mahdollisesti päätyy lopputuotteeseen. Hyvin yleisesti suositellaan, että esimerkiksi keittovaiheen jälkeisille pesureille annostellaan silikonipohjaista vaahdonestoainetta ja lajitteluun alkaessa vaahdonestoaineeksi vaihdettaisiin öljypohjainen vaahdonestoaine, jotta välttyttäisiin riskiltä, jossa silikonia päätyisi lopputuotteeseen. (KnowPulp2024.)

## 4.3 Vaahdon tuottamat ongelmat

Yksikköprosesseissa vaahtoaminen on erityisen yleistä ruskean massan pesussa, sillä mustalipeässä on pinta-aktiivista ainetta, joka aiheuttaa vaahtoamista. Siksi on tärkeää, että massa saadaan pestyä tehokkaasti ja että vaahto poistuisi suodosten mukana. Mitä puhtaampaa kuituaines on pesun jälkeen, sitä vähemmän vaahto aiheuttaa ongelmia myöhemmissä prosessivaiheissa.

Runsaan vaahtoamisen seurauksena säiliöiden ja pumppujen kapasiteetti pienenee, virtaus- ja sa-keusmittaukset eivät ole luotettavia ja pumppuihin voi muodostua kaasukuplia, joka aiheuttaa pumppujen kavitointia. Lisäksi vaahtoamisesta syntyy raaka-ainehäviötä, kun kuidut sekoittuvat ilmakupliin ja päätyvät ylivuotojen kautta jätevesikanaaleihin, kuvan 11 esimerkin tapaan. Liiallinen ilmapitoisuus vaikeuttaa veden poistamista kartonki-, kuivaus ja paperikoneen märänpään viiraosilla, mikä pienentää suotautumista noin 20–25 %. Lisäksi vaahto kerää pihkaa ja muita ongelmallisia aineita, jotka tarttuvat koe-eliimiin, tukkivat kartonki-, kuivaus ja paperikoneen kudoksia, likaa ja tahraa laitteiden pintoja, aiheuttaa tuotantokatkoja koneille, jotka valmistavat lopputuotteen. Yleisesti massan seassa siirtyvä lika voi mahdollisesti aiheuttaa täpliä ja reikiä lopputuotteeseen, joka aiheuttaa laatuvariaatioita ja pahimmillaan reklamaatioita asiakkailta.



Kuva 11. Vaahdon aiheuttama kuituhäviö jätevesikanaalissa.

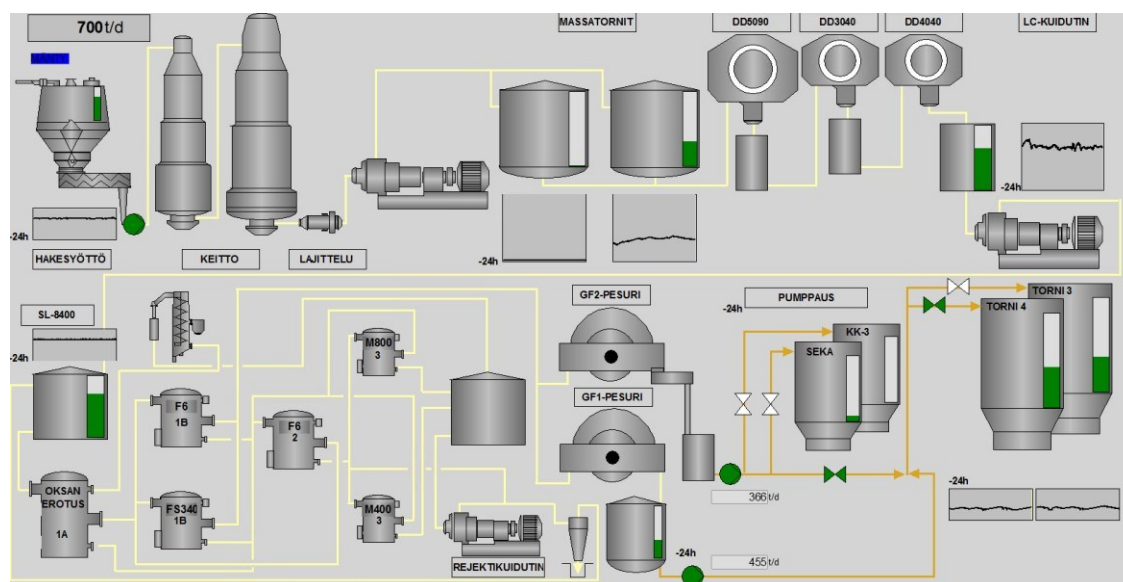
#### 4.4 Annostelukohteet

Prosessiin lisättävän vaahdonestoaineen annostelupiste tulisi olla mahdollisimman lähellä ongelma-kohtaa, jossa vaahtoa pääsee syntymään. Annostelun tulisi siis olla juuri ennen prosessipistettä, jossa vaahtoa syntyy tai suoraan vaahtoavaan tilaan. Piste, johon vaahdonestoainetta annostellaan, tulisi olla sellaisessa paikassa, jossa sekoittuminen olisi mahdollisimman voimakasta. Usein suositeltuja paikkoja annostelulle ovat pumppujen imupuolet, säiliöt, joissa käytetään sekoittimia, sekä paikkoihin, joissa on voimakkaita massavirtoja.

Jos halutaan parantaa sekoittumista, niin vaahdonestoaine annostellaan suoraan pesureiden suihku-putkiin tai laimennussuodoslinjoihin. Annostelupaikkojen valinta on hyvin tärkeää, koska pienetkin muutokset niissä voivat merkittävästi parantaa aineiden tehoavuutta prosessissa. (KnowPulp 2024.)

## 5 VARKAUDEN TEHTAAN KUITULINJA

Varkaudessa Stora Enson pakkauskartonkitehtaan kuitulinjalla valmistetaan ruskeaa massaa männystä ja kuusesta. Massaa käytetään raaka-aineena kartonki- ja kuivauskoneella. Kuitulinjan kapasiteetti on tällä hetkellä 930 tonnia sellua päivässä, mutta jatkuvan kehityksen ja ideoinnin ansiosta, sen kapasiteettia on mahdollista nostaa pienillä muutoksilla. Kuvassa 12 kuitulinjan prosessin yleiskuva.



Kuva 12. Kuitulinjan prosessi. (Stora Enso 2024)

Kuitulinjalla käytetään saha- ja ostohaketta, mutta suurimmissa määrin kuorimon tuottamaa haketta mänty- ja kuusirungoista. Kuorima varastoi kuitulinjalle tarkoitetut hakkeet joko neljälle avokasalle tai kahteen varastosiihlo. Jokaiselle puulajille on omat varastointikatat, joista kuitulinja purkaa haketta määrättyllä mänty-/kuusisuhteella tuotantoonsa.

Hake syötetään hakekasoilta kuljettimia pitkin kuitulinjan hakesiihlo, jossa se on tarkoitus pasuttaa höyryn avulla. Kun haketta on pasutettu noin 16–20 minuuttia, se syötetään hakepumpuilla imeyttimien, jossa hakkeeseen on tarkoitus saada imeytymään musta- ja valkolipeä seos. Imeytykseen käytettävä aika vaihtelee tuotannon mukaan ja sen aikavaihtelu on noin 50–80 minuuttia tuotannon mukaan. Imeytyksen jälkeen hake siirretään keittimeen. Keittimessä tarkoituksena on poistaa hakkeesta ligniiniä höyryn ja keittolipeän avulla, jotta kuidut saadaan eroteltua toisistaan seuraavissa prosessin osa-alueissa. Hakkeen keittämisessä on tärkeää, että keittimen lämpötila on oikeanlainen koko sen pituudeltaan, sekä valkolipeän annostelun ja sen vahvuuden täytyy olla oikeanlainen. Keittimen pohjassa suoritetaan ensimmäinen pesuvaihe, jota kutsutaan keitinpesuksi. Varkauden kuitulinjalla kappa tavoitteena 90. Kappalukemalla määritellään saantoa, eli mitä korkeampi kappa, sitä enemmän hakkeesta saadaan raaka-ainetta ja kuituhäviöt ovat pienemmät.

Keittovaiheen jälkeen keitetty hake syötetään puskkuiduttimelle, jossa se kuitukimput kuidutetaan ensimmäisen kerran pienemmiksi kuiduiksi eli niin sanotusti mekaanisesti erotellaan toisistaan. Puskkuiduttimelta massa syötetään puskusäiliöön. Puskusäiliöstä massa syötetään DD-pesureille, joita on kolme kappaletta ja ne ovat kytketty sarjaan. Ensimmäisenä pesurina toimii DD5090, toisena DD3040 ja kolmantena DD4040. Aikaisemmin DD-pesureita oli kaksi kappaletta, mutta vuonna 2023

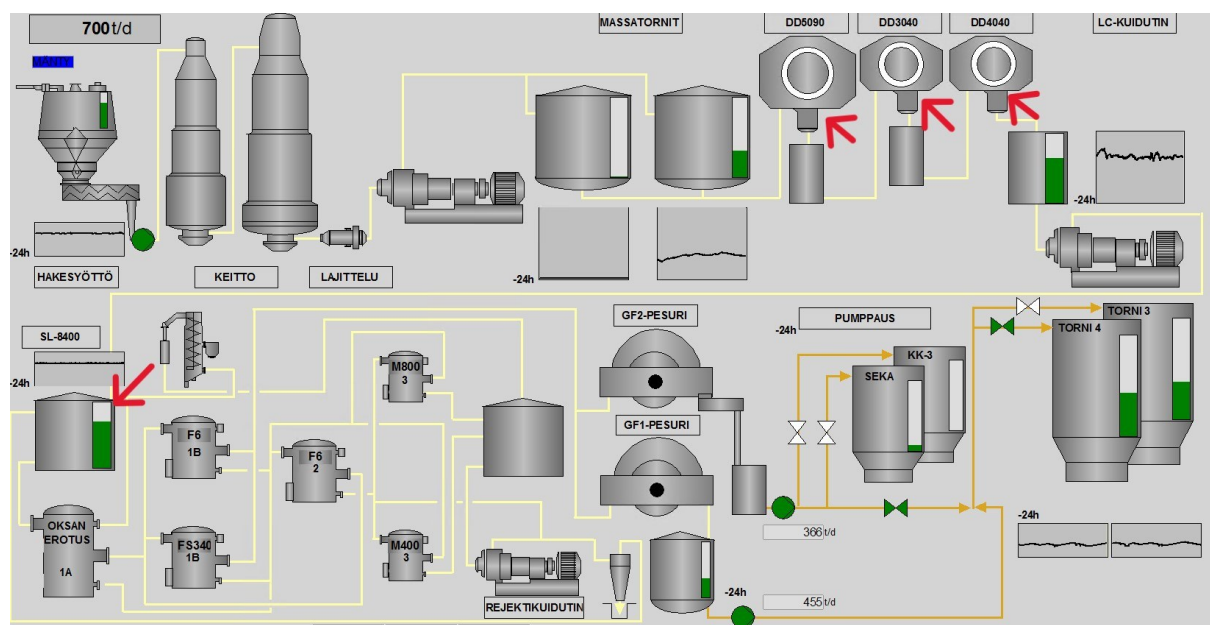
kuitulinjalle investoitiin uusi DD5090 pesuri korvaamaan vanhaa atmosfääristä diffusööripesuria, sekä pesutehokkuuden parantamisen vuoksi. Jokaiselle DD-pesurille annostellaan vaahdonestoainetta ja annostelu kohteina käytetään DD-pesureiden tyhjösäiliöitä.

DD-pesureiden jälkeen massa siirtyy välisäiliöön, josta se pumpataan LC-kuiduttimen (LC = Low Consistency, matalasakeus kuidutin) kautta lajittelunsyöttösäiliöön. Lajittelunsyöttösäiliössä massaun lisätään vaahdonestoainetta, jolla varmistetaan lajittelun ja GF-pesureiden toiminta (GF= Gas free). Lajittelunsyöttösäiliöstä massa pumpataan lajitteluun, jossa on kolme eri vaihetta. Lajittelun tarkoituksena erotella massan seasta aksepti-, oksa-, hiekka ja rejektijae. Aksepti on hyväksyttyä kuitua ja se täyttää laatu-arvot, rejektistä voidaan puhua kuitukimppuna tai liian isona kuitujakeena, joka ei kelpaa laadultaan kartonkikoneen tai kuivauskoneen tuotteeseen. Rejektin käsittelyyn lajittelussa käytetään rejektikuidutinta, jonka tarkoituksena on kuiduttaa massa vielä uudelleen, jotta se saataisiin akseptin muotoon. Viimeisenä hiekka erotellaan massan seasta lajittelun loppuvaiheessa hiekanerottimilla. Lajittelun jälkeen akseptimassa syötetään GF-pesureille, jossa massa pestään vielä kertaalleen ja GF-pesureiden jälkeen massa pumpataan kartonki- tai kuivauskoneelle.

## 6 VAAHDONESTO KOEAJO

Koeajon tarkoituksena on vähentää vaahdonestoaineen kokonaiskulutusta kuitulinjalla, sekä löytää jokaiselle annostelupisteelle mahdollisimman alhainen annostelumäärä ja kokeilla mille annostelupisteille vaahdonestoainetta on järkevin annostella eniten siten että prosessissa käytettävien pesureiden ja niiden oheislaitteiden toiminta ei pääse heikkenemään. On myös huomioitava, että pesutehokkuuden on säilyttävä ennallaan ja ettei vaahtoamista pääsisi syntymään liiallisesti. Koeajojen aikana on myös huomioitava, ettei vaahdonestoaineen annostelun pudotus vaikuta MVR:n (Mechanical vapor recompression) tai haihuttamon toimintaan. Vaahdonestoaineen optimoinnilla saavutetaan kustannussäästöjä, sekä pystytään estämään suodossäiliöiden ja prosessi- ja mittalaitteiden likaantuminen.

Kuitulinjalla annostellaan kahdenlaista vaahdonestoainetta prosessiin. Vaahdonestoaineina käytetään valkoöljypohjaista- ja silikonipohjaista vaahdonestoainetta. Silikonipohjaista vaahdonestoainetta annostellaan DD-pesureille ja valkoöljypohjaista vaahdonestoainetta annostellaan lajitteluun. Annostelukohteita ovat DD5090 tyhjäsailiö, DD3040 tyhjäsailiö, DD4040 tyhjäsailiö, sekä lajittelusyöttösäiliö. Annostelukohteet on merkitty kuvan 13 prosessikaavioon.



Kuva 13. Vaahdonestoaineen annostelukohteet. (Stora Enso 2024)

Nykyisellä operointimenetelmällä prosessioperaattorit annostelevat vaahdonestoaineen määrää manuaalisesti, jossa vaahdonestoaineen annostelua ohjaavaan piiriin syötetään haluttu grammamäärä prosessissa virtaavaa massatonna kohden ( $Adt = \text{ilmakuiva tonni}$ ). Ennen koeajojen alkua vaahdonestoaineen kokonaisannostelun määrä oli  $380 \text{ g/Adt}$ , josta lajitteluun annosteltavan osuus oli  $120 \text{ g/Adt}$  ja DD-pesureille annosteltavan  $260 \text{ g/Adt}$ .

### 6.1 Koeajosuunnitelma

Koeajot suoritetaan eri tuotantonopeuksilla. Jokaiselle tuotantonopeudelle on tarkoitus löytää oikeanlainen vaahdonestoaineen annostelumäärä. Huomioon on otettava se, että jos kuitulinjalla pys-

tään ajamaan maksimi tuotantonopeudelle, joka on 920 t/d, niin sen tuotantoa ei lähdetä pudottamaan koeajojen vuoksi. Alle 900 t/d tuotantonopeuden koeajot toteutetaan silloin, kun tehtaan yleistilanne näyttää sille, että tuotantoa päästään pudottamaan. Kuvassa 14 koeajosuunnitelma.

Koeajojen aloituspäivänä lajitteluun annosteltavan valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen tilalle vaihdetaan DD-pesureilla jo käytössä oleva silikonipohjainen vaahdonestoaine. Lajittelussa ei ole vielä aikaisemmin testattu silikonipohjaista vaahdonestoainetta. Aineen vaihdon tarkoituksena on kokeilla miten lajittelun jälkeen tulevat GF-pesurit toimivat eri vaahdonestoaineella. Jos aine todetaan lajitteluun sopivaksi, niin sillä saadaan jo kemikaalikuluissa säästöjä, koska valkoöljypohjainen vaahdonestoaine on huomattavasti kalliimpaa hintatasoltaan verrattuna silikonipohjaiseen vaahdonestoaineeseen.

Vaahdonestoaineen annostelun koeajoissa on tarkoitus löytää eri tuotannoille mahdollisimman alhainen vaahdonestoaineen annostelumäärä. Koeajot aloitetaan siten, että ensimmäisenä koeajopäivänä lajitteluun aloitetaan annostelemaan silikonipohjaista vaahdonestoainetta valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen sijaan. Lajittelun syöttösäiliön aloitusannokseksi valittiin 50 g/adt, josta lähdetään seuraamaan GF-pesureiden toimintaa. Jos todetaan, että silikonipohjainen vaahdonestoaine toimii hyvin ja prosessissa ei ilmene ongelmia, niin annostelun määrää vähennetään 1–2 tunnin välein, mutta muuten annos vähennykset tehdään prosessin toiminnan mukaan.

Koeajojen aikana massankuidutus pyritään toteuttamaan siten, että pusku- ja kuitutinta kuormitetaan enemmän, jotta massan tikkupitoisuus on mahdollisimman pieni jo ennen LC-kuidutinta ja tämän ansiosta LC-kuidutinta pystyttäisiin ajamaan mahdollisimman pienellä tehokuormalla. Jos LC-kuidutinta joudutaan kuormittamaan tikkupitoisuuksien takia liikaa, niin se rikkoo kuituja ja aiheuttaa GF-pesureilla ongelmia liiallisen kuiduttamisen aiheuttamasta hienoaineksesta.

Koeajo aloitetaan kuitulinjan tuotannon ollessa 900 t/d. Tarkoituksena on hakea mahdollisimman alhainen annostelumäärä lajittelun vaahdonestoaineen syöttöön. Aloitusannokseksi valittiin 50 g/adt, josta lähdetään seuraamaan GF-pesureiden toimintaa. Jos todetaan, että silikonipohjainen vaahdonestoaine toimii hyvin ja prosessissa ei ilmene ongelmia, niin annostelun määrää vähennetään 1–2 tunnin välein, mutta muuten annos vähennykset tehdään prosessin toiminnan mukaan.

<b>Tuotanto 900 t/d</b>	<b>Lähtötilanne</b>					
<b>DD5090</b>	60g/adt	60g/adt	60g/adt	60g/adt	60g/adt	60g/adt
<b>DD3040</b>	45g/adt	45g/adt	45g/adt	45g/adt	45g/adt	45g/adt
<b>DD4040</b>	40g/adt	40g/adt	40g/adt	40g/adt	40g/adt	40g/adt
<b>Lajittelu valkoöljypohj.</b>						
<b>Lajittelu silikonipohj.</b>	50g/adt	40g/adt	30g/adt	20g/adt	10g/adt	0g/adt

Kuva 14. Lajittelun koeajosuunnitelma

Kun lajittelun vaahdonestoaineen alin annosteluraja on löydetty, aloitetaan seuraava koeajo DD-pesureilla. DD-pesureiden vaahdonestoaineen kokonaisannostelu määrä on aloitusvaiheessa 145 g/adt ja annostelun jakosuhte on seuraava, DD5090 60 g/adt, DD3040 45 g/adt ja DD4040 40 g/adt. Tarkoituksena on aloittaa vähentämään vaahdonestoaineen annostelun määrää DD3040 pesurilta 10 g/adt kerrallaan, 1–2 tunnin välein ja pyritään pudottamaan annostelu siihen tilaan, ettei

DD3040 pesurille annostella vaahdonestoainetta enää ollenkaan. Annosmäärää pudotettaessa on tärkeää laajamittaisesti seurata prosessin käyttäytymistä. Jokainen vähennetty annosmäärä lisätään DD4040 pesurin vaahdonestoaineen syötön annostelumäärään, jonka tarkoituksena on kokeilla, kulkeutuuko lisätty vaahdonestoaine DD4040 pesurilta lajitteluun saakka, jolloin lajitteluun ei olisi enää tarvetta annostella vaahdonestoainetta.

Kolmas koeajo tehdään DD5090 pesurin vaahdonestoaineen annosteluun, jossa annosmäärää lähdetään pudottamaan 10 g/adt kerrallaan 1–2 tunnin välein ja pyritään saamaan vaahdonestoaineen syöttö siihen tilaan, ettei pesurille syötetä enää ollenkaan vaahdonestoainetta. Tässäkin vaiheessa on hyvin tärkeää seurata laajamittaisesti prosessin käyttäytymistä ja kiinnittää huomiota mahdollisiin negatiivisiin merkkeihin prosessissa.

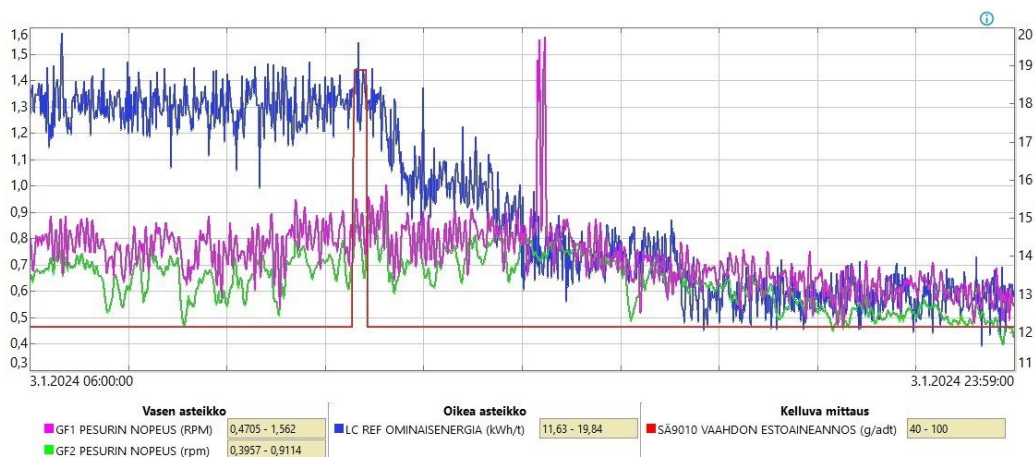
## 6.2 900 t/D- tuotantonopeuden tulokset

### 6.2.1 Lajittelun vaahdonestoaine koeajot

Koeajon aloituspäivänä kuitulinjan tuotanto on 900 t/d. Tällä tuotannolla lajitteluun syötettävän massan virtaus on noin 340–360 l/s. Tarkoituksena on hakea mahdollisimman alhainen annostelumäärä lajittelun vaahdonestoaineen syöttöön. Koeajot aloitettiin 1.3.2024 kello 12:00. Aamupäivän aikana lajitteluun vaihdettiin silikonipohjainen vaahdonestoaine koeajojen ajaksi, koska sen on tarkoitus korvata tulevaisuudessa valkoöljypohjainen vaahdonestoaine.

Kun lajittelun koeajot päästiin aloittamaan silikonipohjaisella vaahdonestoaineella, niin sen annostelun määrä päätettiin pudottaa 40 g/adt, joka oli asetusarvona jo ennen koeajojen alkua valkoöljypohjaisella vaahdonestoaineella ja samaan aikaan puskukuiduttimen ja LC-kuiduttimen kuidutus suhteita muutettiin, ettei LC-kuiduttimella syntyvä hienoaineis pääse hankaloittamaan koeajoja. Kun koeajoja oli ajettu jo noin 30 minuuttia, niin GF-pesureilla havaittiin, että niiden kierrosnopeudet alkavat kohoamaan. Tähän reagoitiin siten, että LC-kuiduttimen tehon pudotusta jatkettiin ja seurattiin, onko sillä vaikutusta.

Koeajojen aloituksesta oli kulunut kolme tuntia, niin huomattiin, että GF1-pesurin kierrokset nousivat todella korkeaksi, koska se ei päässyt enää eroon massasta, vaan massa jäi kiinni viiraan. Välillä sen toiminta parani, mutta toisti saman ongelman aina hetkittäin noin 10 minuutin ajan. Tämän ongelman vuoksi pudotettiin jälleen LC-kuiduttimelta tehoa ja minimoida sen avulla turhaa kuidutusta, jottei hienoainesta pääsisi syntymään. Huomattiin, että tehojen pudotuksesta oli apua ja molempien GF-pesureiden kierroslukemat alkoivat tekemään laskevaa trendiä, sekä niiden toiminta alkoi tasoittumaan. Kuvassa 15 näkyy GF-pesureiden kierroslukemat, LC-kuiduttimen tehon pudotus ja vaahdonestoaineen annostelu. Kuvasta voidaan todeta, ettei aloitusvaiheen ongelmat johtuneet vaahdonestoaineen annostelusta. Ongelmat ovat hyvin todennäköisesti peräisin LC-kuiduttimen liiallisesta kuiduttamisesta.

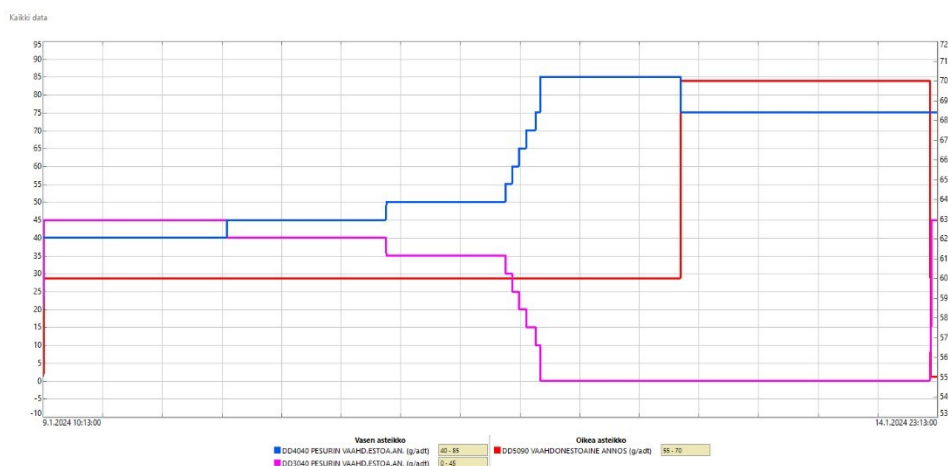


Kuva 15. LC-kuiduttimen tehon pudotuksen vaikutus GF-pesureiden pyörimisnopeuteen. (Stora Enso 2024)

Vaahdonestoaineen annostelun määrä pystyttiin pudottamaan lajittelussa 10 g/adt tasolle ja kyseisellä annostelu määrällä pystyttiin ajamaan prosessia ongelmitta jopa kahdeksan päivän ajan, jonka aikana pystyttiin jo toteamaan, että silikonipohjainen vaahdonestoaine on prosessin toimivuuden kannalta huomattavasti parempi, kuin valkoöljypohjainen vaahdonestoaine.

Kun lajittelun koeajoja oli ajettu 900 t/d tuotannolla jo yhdeksän päivän ajan ja huomattiin, että GF-pesureiden käyttäytyminen alkoi olemaan hyvin epävarmaa ja niiden kierrosnopeudet alkoivat noustamaan rajusti. Tästä syystä vaahdonestoaineen annostelun määrä jouduttiin nostamaan jopa 70 g/adt tasolle. GF-pesureiden epävarma käyttäytyminen jatkui noin viiden päivän ajan, minkä aikana sinne annosteltiin vaihtelevasti 20–70 g/adt välillä vaahdonestoainetta.

DD-pesureilla koeajot aloitettiin ensimmäisenä DD3040 pesurilla. Koeajoja aloitettiin siten, että jokainen vähennetty gramma, joka otetaan DD3040 pesurilta pois, niin se lisätään DD4040 vaahdonestoaineen annosteluun. Tarkoituksena löytää alin annosteluraja pesurille ja selvittää onko sinne tarvetta edes annostella vaahdonestoainetta. Kuvassa 16 esimerkki miten koeajo on toteutettu.



Kuva 16. DD-pesureiden vaahdonestoaine annostelun muutos DD3040 koeajojen aikana. (Stora Enso 2024)

Kun koeajo alettiin suorittamaan, tehtiin DD3040 vaahdonestoaineen annostelulle 10 g/adt vähennys tietyin väliajoin. Jokaisen vähennyksen jälkeen seurattiin prosessin käyttäytymistä ja normaalista poikkeavia ajo-ongelmia ei huomattu missään, joten annoksen pudottamista jatkettiin. DD3040 vaahdonestoaineen annostelussa päästiin siihen tilanteeseen, että sen vaahdonestoaineen annostelu lopetettiin kokonaan ja jäätiin seuraamaan, miten pesuri toimii ilman vaahdonestoainetta. Kului noin 1,5 vuorokautta eikä annostelua tarvinnut vielääkään palauttaa pesurille, eikä prosessissa ilmennyt muutenkaan mitään ongelmia. Kun koeajoa oli ajettu lähes kaksi vuorokautta, niin yövuorossa oli huomattu, että DD3040 pesurin tyhjösäiliö oli alkanut vaahtoamaan ylijooksun kautta keittämön kaanaliin ja tämän takia pesurille jouduttiin palauttamaan vaahdonestoaineen annostelu takaisin, että vaahtoaminen saataisiin loppumaan. Vaahdonestoaineen annostelu päätettiin palauttaa siten, että ensimmäisenä testattiin, häviääkö vaahtoamisongelma, jos annostelun määräksi asetetaan vain 10 g/adt. Vain muutamien sekuntien jälkeen annostelun palautuksesta vaahtoaminen loppui ja tilanetta jäätiin taas seuraamaan. Tilanne rauhoittui pesurin osalta niin hyvin, että 10 g/adt annostelu päätettiin jättää pesurin vaahdonestoaineen annostelun määräksi koeajojen loppuun saakka.

Seuraavaksi aloitettiin DD5090 pesurin koeajot, jolloin pesurille annosteltiin 60 g/adt vaahdonestoainetta. Koeajojen aikana 20 g/adt pesurille annosteltavasta vaahdonestoaineen määrästä siirrettiin DD4040 pesurin vaahdonestoaineen annosteluun. Loput 40 g/adt vaahdonestoainetta vähennettiin vain pois, eikä sitä lisätty muille annostelu pisteille. DD5090 koeajot suoritetaan samalla tavalla kuin DD3040 ja tavoitteena annostelussa on päästä 0 g/adt tasolle.

### 6.3 750–850 t/d tuotantonopeuden tulokset

750–850 t/d tuotantonopeuksien koeajon aikana alkoi GF-pesureilla ilmenemään ongelmia, koska vaahdonestoaineen annostelu pyrittiin pitämään mahdollisimman matalalla tuotantonopeuksien nostojen aikana. Vaahdonestoaineen annostelu oli pakko aloittaa, koska tuotannon ja massavirtausten kasvu oli todella suuri lyhyelle aikavälille.

Näillä tuotannoilla lajittelussa on aiheellista pitää vaahdonestoaineen annostelu käynnissä, koska massavirrat alkavat olemaan jo niin isoja, että ne voivat aiheuttaa GF-pesureilla epävarmaa toimintaa. Koeajojen perusteella vaahdonestoaineen annostelu lajitteluun oli syytä aloittaa silloin kun lajittelun syöttölitrat ylittävät 275–285 l/s.

On aiheellista huomioida, että 750 t/d tuotannolla lajittelun massavirtaukset ovat vielä näillä tuotannoilla hyvin maltilliset, noin 255–265 l/s kappatason vaihtelut huomioiden. Koeajojen perusteella vaahdonestoaineen annostelun asetusarvoksi lajitteluun riittää 0–20 g/adt.

Tuotantonopeuden kasvaessa 850 t/d tai yli, tulisi annostelu nostaa noin 20–30 g/adt tasolle, koska lajittelun massavirtaukset alkavat olemaan jo niin suuret ja massan viipymä eri pesuvaiheissa on lyhyempi, jolloin sen peseytyminen on heikompaa. Kyseisillä annosmäärillä pystytään samalla ennakoimaan tulevia tuotantonopeuksien nostoja.

DD-pesureiden kokonaisannos oli näillä tuotantonopeuksilla 100–120 g tasolla ja pesurit toimivat ongelmitta. Pidemmän koeajojakson jälkeen annostelua nostettiin vielä 140–150 g tasolle, jolla saatiin tasapainotettua prosessia lisää. Jos prosessi toimii tasaisesti ja massa on puhdasta, voidaan annostella 800–850 t/d tuotannolla 130–140 g/adt vaahdonestoainetta.

#### 6.4 650–750 t/d tuotantonopeuden tulokset

Näillä tuotantonopeuksilla ei ole tarvetta annostella vaahdonestoainetta lajitteluun, koska massavirrat pysyvät todella maltillisina ja massa peseytyy jopa ylipuhtaaksi pesuvaiheiden aikana. Koeajon aikana ei ilmennyt minkäänlaisia ongelmia lajittelussa tai GF-pesureilla, vaikka vaahdonestoainetta ei annosteltu lainkaan. Kun tuotanto nousee yli 750 t/d, niin on aiheellista aloittaa ennakoivasti vaahdonestoaineen annostelu lajitteluun korkeampia tuotantonopeuksia varten. Kun tuotanto nostetaan yli 750 t/d, niin lajittelun vaahdonestoaineen annosmääräksi on suositeltavaa asettaa 10 g/adt.

#### 6.5 550–650 t/d tuotantonopeuden tulokset

Tällä tuotannolla ei ole tarvetta annostella vaahdonestoaineita massan puhtauden vuoksi, mutta prosessin toiminta varmuuden kannalta sitä on suositeltavaa annostella jokaiselle DD-pesurille vähintään 10 g/adt ja lajitteluun ei tarvitse annostella ollenkaan.

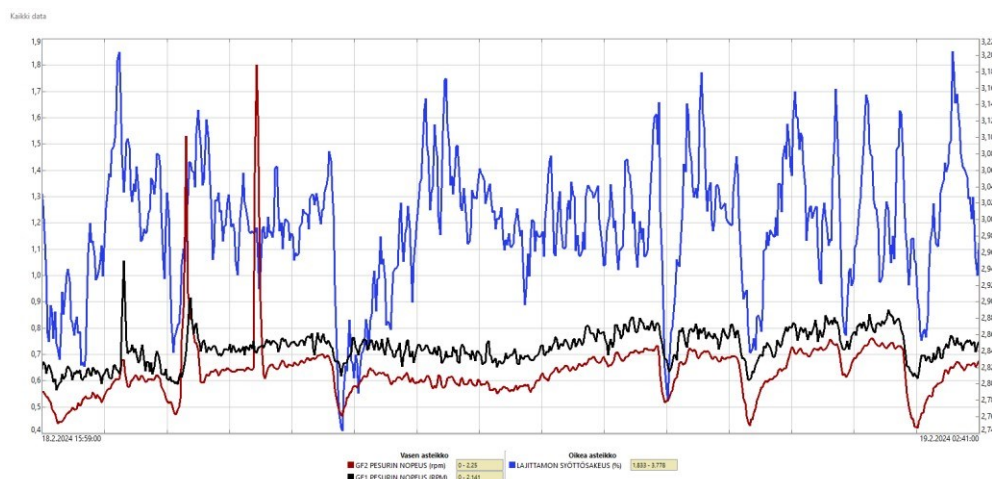
#### 6.6 Koeajon häiriötekijät

##### 6.6.1 Lajittelu

Koeajojen aikana huomattiin, että GF-pesureiden toimintaongelmat eivät johdu ainoastaan liian pienestä vaahdonestoaineen määrästä tai LC-kuidutuksesta syntyvästä hienoaineesta. GF-pesureiden toimintavarmuus alkoi heikentyä koeajojen loppuvaiheessa ja ongelmaa koitettiin ratkaista lajittelun vaahdonestoainetta lisäämällä. Vaikka lajittelun vaahdonestoaineen annostelu nostettiin 50–70 g/adt tasolle, niin pesureiden ongelmat jatkuivat silti.

Kun asiaa lähdettiin tutkimaan kentältä käsin, huomattiin, että GF-pesureiden syöttöaltaaseen syötettävän massan sakeus näyttää melko korkealta. Ongelmaa lähdettiin tutkimaan operointipäätteen kautta ja vertailemaan mittauksen kuvaajista pitkän ajan trendejä. Tutkimuksissa huomattiin, että lajittelun syöttösakeudessa tapahtuu suuria heittoja samanaikaisesti, kun GF-pesureiden kierroksen lähtevät nousemaan. Sakeusvaihtelut ovat niin suuria, että se aiheuttaa GF-pesureilla ongelmia sen takia, koska sakeus pääsee liian korkeaksi. Tutkimuksissa huomattiin myös, että DD-pesureiden sakeusheittelyt pahentavat vain lajittelunsyötön sakeusheittelyjä. Kuvassa 17 trendit lajittelun sakeuden heittelyjen tuottamista ongelmista GF-pesureilla.

Tästä syystä suoritettiin koeajo, jossa lajittelun syöttösakeuden asetusarvo laskettiin 3.3 % →3.1 % ja LC-kuiduttimen syöttösakeuden asetusarvo laskettiin 4.7 % →4.6 %. Koeajon aikana todettiin, että matalammalla sakeudella GF-pesureiden toimintavarmuus parani merkittävästi ja lajittelun sakeussäätö pysyi toiminta-alueellaan paljon paremmin. Koeajon ansiosta lajittelun vaahdonestoaineen annostelun määrää pystyttiin pudottamaan taas matalammalle tasolle.



Kuva 17. Sakeusheittelyiden tuottamat ongelmat. (Stora Enso 2024)

### 6.6.2 Haihuttamo

Koeajojen aikana haihuttamalla huomattiin mustalipeäsäiliöissä vaahtoamisongelmia. Vaahtoaminen oli ajoittain niin suurta, että vaahtoa päätyi säiliöiden ylijooksujen kautta säiliöalueen lattioille. Vaahtoamisen vuoksi haihuttamolle jouduttiin annostelemaan hetkittäin yli 15 l/h vaahtonestoainetta, jotta vaahtoaminen saataisiin loppumaan.

Soodakattilan operaattorit epäilivät vaahtoamisen syyksi kuitulinjan liian alhaista vaahtonestoaineen määrää, joka tulisi epäilyjen mukaan ilmi siten, että kun vaahtonestoaineen annostelun määrä on liian pieni, niin haihuttamalla likaislauhteen määrä nousee normaalilta 4–5 l/s tasolta yli 6–7 l/s. Likaislauhteen kasvava määrä aiheuttaa stripperille kuormitusta, eikä sen kapasiteetti enää riitä, jolloin ylimääräinen likaislauhde pääsee palaamaan vuotolipeän kautta laihalipeän sekaan. Kun likaislauhde pääsee palaamaan takaisin laihalipeän sekaan, niin sen seurauksena haihuttamolle menevän höyryn määrä lisääntyy. Eli juurisyyinä vaahtoamiselle haihuttamalla voisi olla se, että stripperin kapasiteetti loppuu ja ylimääräinen likaislauhde pääsee sen vuoksi kiertämään takaisin laihalipeään, joka aiheuttaa haihuttamon vaahtoamisen.

Toinen vaihtoehto haihuttamalla syntyneisiin vaahtoamisongelmiin on täysin vaahtonestoaineesta riippumaton. Kuitulinjalla loppuvuodesta 2023 muutettiin hakesyötön mänty/kuusi- suhdetta. Tyypillisesti hakesyöttöön annostellaan mäntyä 65–70 % ja kuusta 30–35 % annosteltavan kokonaishakkeen määrästä. Nyt kuitenkin koeajojen aikana annostelusuhdet olivat normaalista poikkeavat puupulan vuoksi, jolloin männyn osuus oli 55–60 % ja kuusen 40–45 %. On hyvinkin mahdollista, että kasvanut kuusen osuus kuitulinjan prosessissa aiheuttaa vaahtoamisen haihuttamalla, koska kuusipuusta ei saada suopaa toisinkuin männystä, joten teoriassa kun mäntypuusta tuleva suopa vähenee, niin haihuttamalla pääsee syntymään enemmän vaahtoa. Kun suovan saanto vähenee, niin se näkyy myös mäntyöljyn valmistuksessa ja sen saannossa.

## 7 SÄÄTÖPIIRIN RAKENNUS

Kuitulinjalle haluttiin rakentaa vaahdonestoaineen annosteluun säätöpiiri, joka ohjaisi vaahdonestoaineen annostelua eri tuotantojen mukaan. Säätöpiirin avulla saataisiin kemikaali- ja kustannussäästöjä, sekä mahdollisesti prosessin mittalaitteiden toimintavarmuus tulisi paranemaan ja suodospumput ja säiliöt pysyisivät puhtaampina eikä, sinne kertyisi kalvomaisia pintoja, joita vaahdonestoaine kemikaali aiheuttaa silloin kun sitä yliannostellaan.

Säätöpiirin rakennus toteutetaan koeajojen pohjalta, jossa eri tuotantonopeuksille on määritelty tarvittavat annostelumäärät. Valitut annosmäärät toimivat asetusarvona eri tuotantonopeuksien vaahdonestoaineen annostelulle. Säätöpiirin ja sen näyttöpäätteen operointikuvakkeiden rakentamiseen käytettiin tehtaalla käytössä olevia suunnittelutyökaluja. Säätöpiirin luominen toteutettiin yhdessä Stora Enson automaatiokunnossapitäjän kanssa, jonka työnkuvaan kuuluu järjestelmämuutokset, sekä automaatiolaitteiden kunnossapito.

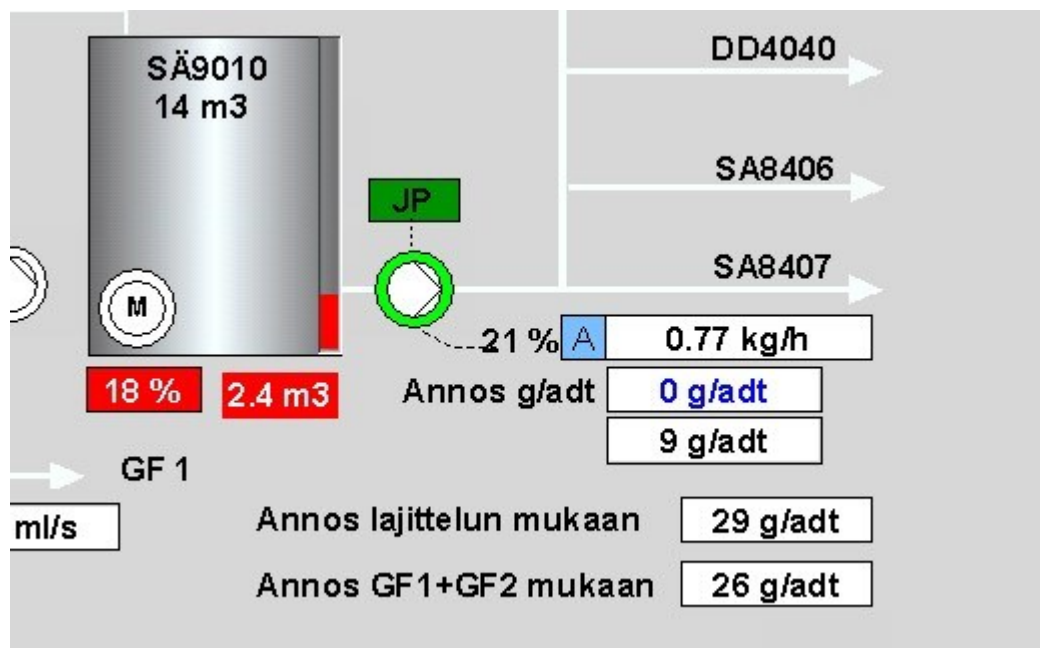
### 7.1 Säätöpiirin rakennus

Säätöpiirin rakentamiseen käytettiin PND- builderia, jolla saatiin yhdistettyä oikeat mittaukset säätöpiirin toimintaa varten. PND-Builderissa on tarkoitus yhdistää prosessissa jo olemassa olevia mittauksia, eli lohkoja, jotta saadaan luotua järjestelmään erilaisia mittausarvoja, jotka ilmoittavat laskeen perusteella esimerkiksi kemikaalikulutuksen määrän tai sitten sillä voidaan luoda säätöpiiri, jolla pystytään säätämään, sekä vakioimaan kemikaalinkulutusta.

Prosessioperaattoreiden näyttöpäätteelle rakennettiin myös uusi operointikuvake, eli ajokuva, josta operaattorit pystyvät näkemään prosessin tilan, sekä hallitsemaan ja ohjaamaan prosessia. Operointikuvakkeen luomiseen käytettiin HMI web display builder- ohjelmaa. Ohjelmalla pystytään myös muokkaamaan jo olemassa olevia ajokuvakkeita.

### 7.2 Vanha säätöpiiri

Aikaisemmin käytössä ollut vaahdonestoaineen säätöpiiri toimi automaattiasetuksella jatkuvasti, eikä sen asetusarvo muuttunut, vaikka tuotannossa olisi tapahtunut muutoksia. Esimerkiksi jos DD-pesureille annosteltiin yhteensä 300 g/adt ja lajitteluun 100 g/adt, niin sen annostelu pysyi koko ajan täysin samana, vaikka tuotannossa olisi tapahtunut muutoksia.



Kuva 18. Vanha vaahdonestoaineen säätöpiiri (Stora Enso 2024)

Kuvassa 18 esimerkki vanhasta säätöpiiristä. Automaatti, eli A-tilassa säätöpiiri ylläpiti asetusarvoa seuraavalla laskentakaavalla:

$$20\text{g/adt} \cdot 0,001 \cdot 650\text{d/t}$$

---


$$24\text{h}$$

### 7.3 Lajittelun uudet annostelumallit

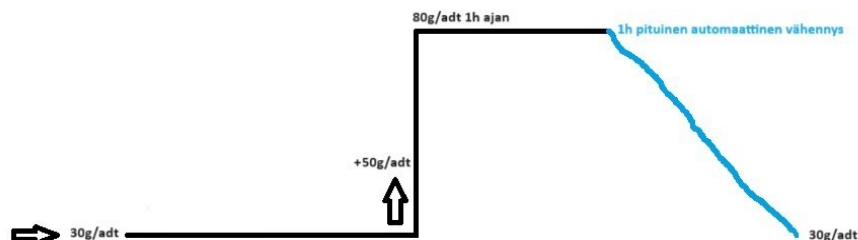
Lajitteluun halutaan kehittää toiminto, jossa järjestelmän logiikka lisäisi vaahdonestoaineen annostelua automaattisesti, kun se havaitsee ongelmia GF-pesureilla. Vaihtoehtoina tällaiselle toiminnolle oli rakentaa boost-valintapainike tai sekvenssitoiminto vaahdonestoaineen lisäykseen. Näiden avulla saataisiin hetkellisesti nostettua vaahdonestoaineen määrää lajitteluun ja samalla saataisiin apua ongelmatilanteeseen. Piirien toimintalogiikka toimii siten, että se lisää vaahdonestoaineen määrää lajitteluun hetkellisesti esimerkiksi 50 g/adt ja määrätyn ajan kuluttua palauttaa annostelun sille tasolle millä se oli aiemminkin.

#### 7.3.1 Boost-painike

Boost-painike olisi tarkoitus lisätä semmoiselle operointisivulle, joka on lähes aina auki operointipäätteellä, jotta sen toimintaa pystyttäisiin käyttämään mahdollisimman nopeasti ongelmatilanteen tullen, eli se olisi helposti löydettävissä.

Valintapainikkeen ominaisuuksien tarkoituksena on lisätä vaahdonestoaineen annostelun määrää esimerkiksi 50 g/adt sen hetkisen annostelun lisäksi ja pitää korkeampi annostelutaso päällä noin tunnin ajan. Kun Boost-toiminto on ollut tunnin ajan käytössä, se aloittaa vähentämään järjestelmään määritellyn aikaviiveen mukaan lineaarisesti rauhalliseen tahtiin vaahdonestoaineen annosta takaisin siihen määrään, jonka säätöpiirin laskenta sen hetkellä tuotannolla vaatii. Aikaviiveenä annostelumäärän vähennyksessä voidaan käyttää myös yhden tunnin mittaista viivettä sen vuoksi,

ettei prosessi pääse tapahtumaan liian suuria heittoja, jotka taas aiheuttaisivat uusia ongelmia prosessin toimivuuteen. Kuva 19 näyttää esimerkin toimintamallista.



Kuva 19. Boost-painikkeen toimintamalli.

Eli jos lajitteluntuotanto on ongelmatilanne hetkellä 800 t/d ja lajitteluun annostellaan säätöpiirin laskentojen mukaan sillä hetkellä 30 g/adt vaahdonestoainetta, niin boost-painiketta käytettäessä se lisää annosteluun 50 g/adt vaahdonestoainetta, jolloin lajittelun kokonaisannostelun määräksi saadaan 80 g/adt. Piiri pitää annostelua 80 g/adt tasolla tunnin ajan, jonka jälkeen se aloittaa vähentämään vaahdonestoaineen annostelun määrää takaisin 30 g/adt tasolle. Annosmäärän palautuminen vaaditulle tasolle kestää yhden tunnin verran. Boost-painiketta tulisi käyttää vain ja ainoastaan silloin, kun todetaan että sille on tarvetta esimerkiksi GF-pesureiden ongelmien vuoksi.

Boost-painike toimii niin sanotusti valintapainikkeena. Kun hiiren kursorilla painetaan boost-painiketta, se aukaisee pienen valintasivun tietokoneen näytölle, jossa täytyy klikata "kyllä" tai "ei" painiketta. Kun valintasivulla painetaan "kyllä" painiketta, niin boost-painike muuttuu näytöllä vihreäksi, eli se tarkoittaa sitä, että boost-toiminto on käytössä. Silloin kun boost-toiminto ei ole käytössä, niin painikkeen väri on näytöllä valkoisena. Valintasivun tarkoituksena on se, ettei prosessia operoidessa pääse tapahtumaan vahinkopainalluksia ja sillä varmistetaan, että halutaanko boost-toimintoa varmasti käyttää. Painikkeen värimuutoksen ideana on se, että prosessia operoivat henkilöt ovat tietoisia missä tilassa boost-toiminto on.

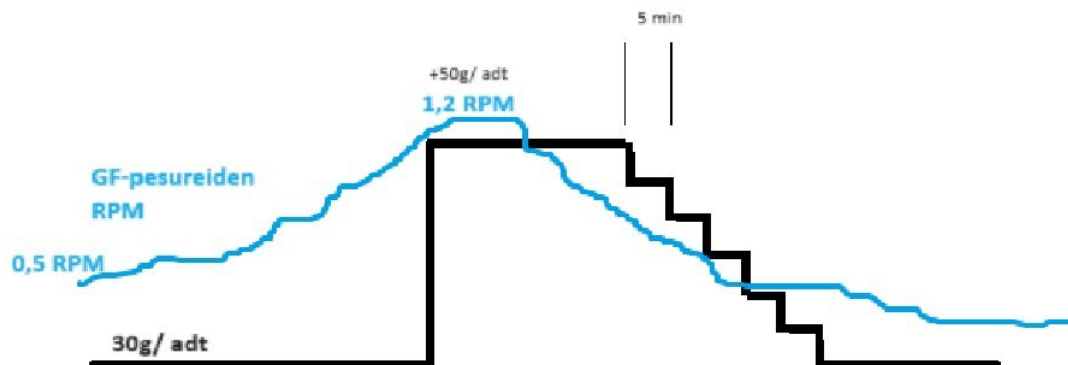
### 7.3.2 Sekvenssitoiminnallinen määränlisäys

Lajittelun vaahdonestoaineen lisäykseen prosessin ongelmatilanteita varten suunniteltiin myös sekvenssipohjainen toimintamalli, jossa piiri aloittaa toimintansa automaattisesti, kun tietyt ehdot sekvenssin käynnistymiseen täyttyvät prosessijärjestelmässä. Tämän piirin toiminta ei vaadi prosessia ohjaavilta operaattoreilta minkäänlaisia toimenpiteitä, vaan piirin toimintamallin periaatteena on se, että se käynnistää sekvenssin automaattisesti silloin kun järjestelmä antaa sille tiedon käynnistymisehdon täyttymisestä, joka voi olla esimerkiksi sellainen, että GF-pesurin pyörintänopeus ylittää 1,2

kierrosta minuutissa. Tällä tavalla järjestelmä pystyy reagoimaan ongelmatilanteisiin nopeammin kuin prosessia ohjaava henkilö.

Sekvenssin toimintamalli perustuu sille annettujen käynnistymisehtojen täyttymiseen. Kun sekvenssiä rakennetaan prosessijärjestelmään, niin sille annetaan järjestelmästä tietyt piirit ja niiden raja-arvot mitä se seuraa. Sekvenssi käynnistyy ja se aloittaa sille määritetyn ensimmäisen askeleen silloin kun siihen liitetyn piirin raja-arvo ylittyy.

Kuvassa 20 on havainnollistettu sekvenssin toimintamalli, jossa se on rakennettu kahdeksan vaiheiseksi. Käynnistysehtona ensimmäiselle askelelle on GF-pesureiden pyörimisnopeus, jonka raja-arvona käytetään 1,2 kierrosta minuutissa. Esimerkkikuvassa laskennallinen säätöpiiri annostelee normaalisti vaahdonestoainetta 30 g/adt lajitteluntuotannon mukaan. Kun sekvenssi saa järjestelmästä tiedon pyörimisnopeuden raja-arvon ylityksestä, se lisää lajitteluun automaattisesti 50 g/adt vaahdonestoainetta, joka nostaa annostelun 80 g/adt tasolle. Annostelumäärän lisäyksen jälkeen se pitää korkeampaa annostelutasoa käynnissä 30 minuuttia, jonka jälkeen se aloittaa pudottamaan annostelua viiden minuutin välein takaisin 30 g/adt tasolle, eli esimerkkikuvassa annoksen pudotus tulisi kestämään 30 minuuttia sekvenssin askelten mukaan. Kokonaisuudessaan sekvenssin kesto aloituksesta sen lopetukseen kestää yhden tunnin.



Kuva 20. Vaahdonestoaineen lisäys sekvenssi toimintamallilla.

Sekvenssin eri vaiheet eli askeleet:

1. Raja-arvo 1,2 rpm täyttyy ja sekvenssi käynnistyy → vaahdonestoaineen lisäys +50 g/adt → vaahdonestoaineen kokonaisannos 80 g/adt → annoksen pito 30 minuuttia.
2. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.
3. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.
4. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.
5. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.
6. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.
7. VEA annoksen pudotus → annoksen pito 5 minuuttia.

8. Annoksen palautuminen 30 g/adt tasolle säätöpiirin mukaisesti.

#### 7.4 Uusi vaahdonestoaineen säätöpiiri tuotannon mukaan

Annostelutaulukon tarkoituksena on se, että se lisää ja vähentää vaahdonestoaineen määrää eri tuotantonopeuksien mukaan. Jokaiselle tuotantonopeudelle on asetettu omat annosmäärät DD-pesureille ja lajitteluun. Haluttu annos (g/adt) määriteltiin koeajojen perusteella. Säätölogiikkaan lisättiin myös DD-pesureille suhdeasetus, jonka avulla pystytään prosentuaalisesti asettamaan annostelu suhteet. Esimerkiksi jos DD-pesureille annostellaan 180 g/adt vaahdonestoainetta, niin silloin taulukon mukaan DD5090 ottaa 30 %, DD4040 40 % ja DD3040 30 % suhteella kokonaisannoksesta. Suhdesäädön avulla annostelun painopisteet saadaan jaettua eri pesureille. Kuvassa 21 uusi prosessinohjaus säätöpiiri.

VEA ANNOSTELU TUOTANNON MUKAAN				906 t/d		
TUOTANTO	DD ANNOS	LAJ. ANNOS	KOK. ANNOS	DD PESURI	SUHDE %	ANNOS
600 Adt/d	150 g/adt	0 g/adt	212 g/adt	DD-5090	30 %	54 g/adt
700 Adt/d	160 g/adt	0 g/adt		DD-3040	30 %	54 g/adt
800 Adt/d	170 g/adt	20 g/adt		DD-4040	40 %	72 g/adt
900 Adt/d	180 g/adt	30 g/adt				
1000 Adt/d	190 g/adt	40 g/adt				

SÄÄTÖVALINTA:

Kuva 21. Uusi säätöpiiri (Stora Enso 2024)

## POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida vaahdonestoaineen annostelua Varkauden Stora Enson pakkauskartonkitehtaan kuitulinjalla eri tuotantonopeuksille ja rakentaa säätöpiiri, joka ohjaa annosteltavaa määrää tuotannon mukaan. Työn aikana suoritettiin koeajot eri tuotantonopeuksilla ja määritettiin optimaaliset vaahdonestoaineen annostelumäärät eri annostelupisteille.

Koeajojen perusteella löydettiin oikeat annostelumäärät, joiden avulla rakennettiin säätöpiiri, joka säätää automaattisesti vaahdonestoaineen annostelua prosessiin tuotantonopeuden mukaan. Optimoimalla vaahdonestoaineen annostelua saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä ja parannettiin prosessin toimintavarmuutta.

Työn ansiosta saavutettiin säästöjä 5000–10000 euroa kuukaudessa säätöpiirin ja kemikaalin yhtiäistämisen ansiosta sekä kuljetuskulujen vähenemisestä. Silikonipohjaisen vaahdonestoaineen käyttö osoittautui tehokkaammaksi kuin valkoöljypohjaisen vaahdonestoaineen, mikä osaltaan vähensi kemikaalikustannuksia. Lisäksi säätöpiirin avulla vaahdonestoaineen annostelua voidaan säätää automaattisesti eri tuotantonopeuksien mukaan, mikä parantaa prosessin mittalaitteiden toimintavarmuutta ja vähentää suodospumppujen ja säiliöiden likaantumista.

Työ onnistui hienosti ja säätöpiiri toimii mainiosti. Prosessin optimointi ja säätöpiirin rakentaminen ovat tuottaneet merkittäviä hyötyjä ja saavutetut säästöt osoittavat työn onnistuneen tavoitteissaan. Prosessin toimintavarmuus on parantunut ja kemikaalikustannukset ovat vähentyneet, mikä on tärkeää tehtaalle ja sen toiminnalle.

## LÄHTEET

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2010. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Edita. [Viitattu 7.1.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/automation/process\\_analysis/1\\_wedge/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/automation/process_analysis/1_wedge/frame.htm). [Viitattu 26.3.2024]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2\\_continuous/1\\_methods/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2_continuous/1_methods/frame.htm). [Viitattu 16.3.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2\\_continuous/6\\_impregnation/frame](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2_continuous/6_impregnation/frame). [Viitattu 16.3.2024]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2\\_continuous/8\\_washing/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/cooking/2_continuous/8_washing/frame.htm). [Viitattu 23.2.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/evaporation/1\\_general/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/evaporation/1_general/frame.htm). [Viitattu 22.2.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/general/10\\_causticizing/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/general/10_causticizing/frame.htm). [Viitattu 2.4.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/recovery\\_boiler/1\\_general/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/recovery_boiler/1_general/frame.htm). [Viitattu 14.3.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/screening/4\\_process/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/screening/4_process/frame.htm). [Viitattu 2.3.2025]

KnowPulp. 2024. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. Saatavissa: [https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/washing/5\\_process/frame.htm](https://www.knowpulp.com/www/suomi/pulping/washing/5_process/frame.htm). [Viitattu 2.3.2025]

Stora Enso. 2023. Stora Enso Varkauden tehdas. Verkkójulkaisu. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/varkaus-mill>. [Viitattu 7.1.2024]