



Miikka Veikkolainen

HTC-laitoksen käyttöönotto osaksi Stora Enso Heinolan flutingtehtaan jätevesien käsittelyä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

15.9.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Miikka Veikkolainen
Otsikko:	HTC-laitoksen käyttöönotto osaksi Stora Enso Heinolan Fluting tehtaan jätevesien käsittelyä
Sivumäärä:	31 sivua
Aika:	15.9.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat:	Käyttöpäällikkö Timo Riuttanen Kehityspäällikkö Mikael Sillfors

Tämä insinööriyö käsittelee Stora Enson ja laitostoimittajan pilottiprojektin käyttöönottoa osaksi tehtaan jätevesien käsittelyä. Metsäteollisuudessa syntyvien jätevesien biologinen liete on sen hankalan käsiteltävyyden vuoksi ongelma ja HTC-laitoksella on pyritty ratkaisemaan se.

Tavoitteena oli luoda Stora Ensolle kaikki operointi- sekä kunnossapitovastuun siirtoon tarvittavat toimintamallit sekä suunnitella ja laittaa käytäntöön operatiivisten toimintojen siirto laitostoimittajalta Stora Ensolle sekä muutos johtaa Stora Enson henkilöstöä tässä prosessissa.

Projektin parissa työskennellessä useat maailmantilanteesta johtuvat aikataulumuutokset vaikuttivat insinööriyön kulkuun viivästyttäen sitä, joten hankkeen loppuun vientiä käsittelevä osuus jätettiin pois. Täten insinööriyö käsittelee tarkasteluaikajakson aikaisia tapahtumia sekä toimenpiteitä koskien operoinnin siirtoa, kunnossapitoa ja prosessilaitteiden ja kiinteistöjen hallintaa.

Avainsanat: metsäteollisuus, bioliete, jätevesienkäsittely

Abstract

Author: Miikka Veikkolainen
Title: Implementation of the HTC Plant as Part of Wastewater Treatment at Stora Enso Heinola Fluting Mill
Number of Pages: 31 pages
Date: 15 October 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Energy Production
Supervisors: Timo Riuttanen, Manager, Pulp mill
Mikael Sillfors, Development manager

This thesis studies the commissioning of Stora Enso and the plant supplier's pilot project as part of the fluting mill's wastewater treatment process. Biological sludge generated from wastewater in the forest industry is a problem due to its difficult handling, and the HTC plant has tried to solve it.

The goal was to create for Stora Enso all the necessary operating and maintenance models, transfer of operation and maintenance responsibility, and plan and put into practice the transfer of operational functions from the plant supplier to Stora Enso. In addition, the aim was change the way how Stora Enso personnel is managed in this process.

During the commissioning project, several schedule changes due to the world situation affected the progress of the thesis and delayed its completion, therefore the part concerning the completion of Stora Enso's commissioning project was excluded from the thesis. Thus, the thesis only addresses events and procedures during the reviewed period regarding the transfer of operations, maintenance and the management of process equipment and real estate.

Keywords: forest industry, biosludge, wastewater treatment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustatietoa	1
2.1	Stora Enso Heinolan Fluting-tehdas	1
2.2	Yhteistyökumppanit ja laitostoimittaja	1
2.3	Fluting tehtaan prosessit	2
2.3.1	Raakapuun käsittely	2
2.3.2	Puolisellun valmistus	3
2.3.3	Kemikaalien talteenotto ja kemikaalikierrät	3
2.3.4	Voimalaitos	5
2.3.5	Flutingin valmistus kartonkikoneella sekä jälkikäsittely	5
2.4	Tehtaan jätevesien ja lietteiden synty sekä käsittely	6
2.4.1	Etuselkeytys	7
2.4.2	MBP-laitos (minimum biosludge production)	7
2.4.3	Aktiivilietelaitos	8
2.4.4	Jälkiselkeytin	8
2.4.5	Tertiääriflotaatio	8
2.4.6	Lietteen kuivatus	8
3	Yleistä HTC-prosessista	9
3.1	Prosessin tavoitteet	9
3.2	WetOx prosessi lyhyesti	10
3.3	Laitoksen energiatehokkuus	13
3.4	Laitoksen ympäristönäkökohdat ja päästöt	14
4	HTC-laitos tehtaalla ja sen käyttöönotto sekä koetoiminta	15
4.1	HTC laitoksen koetoiminta	17
4.1.1	Yhdyskuntalietekoeajot	18
4.1.2	Tiedostetut haasteet ennen koeajoa	18
4.2	Käyttöönotto ja optimointi	19
5	Laitoksen operointi- sekä kunnossapitovastuun siirtäminen Stora Ensolle	20
5.1	Lähtötilanne	20

5.2	Stora Ensolla käytössä olevat työaikamallit	21
5.3	Tuotannon operaattorien perehdytysten käynnistäminen	22
5.4	Operaattoreiden perehdytys	22
5.5	Toimintaohjeet ja kunnossapitovastuun siirto.	24
5.6	Toiminta ja vastuut erilaisissa miehitystilanteissa	26
5.7	Laitoksen kannattavuus	26
6	Projektin yhteenveto	27
6.1	Pohdintaa	27
6.2	Tulevaisuuden näkymät	29
	Lähteet	31

Lyhenteet

bar (a):	Absoluuttinen ilmanpaine, 1bar = 100 000 Pa.
COD	Kemiallinen hapen kulutus, jäteveden laadun mittari, joka toimii epäsuorana mittauksena veden sisältämille hapetettaville yhdisteille.
DCS	Distributed control system, hajautettu ohjausjärjestelmä on tietokonepohjainen automaation ohjausjärjestelmä prosessille tai tuotantolaitokselle.
DS	Dissolved solids, nesteeseen liuennut kiintoaine.
HHV	Higher heating value, ylempi lämpöarvo, kalorimetrinen lämpöarvo. Lämpöenergian määrä poltettavan aineen massayksikköä kohti, joka vapautuu, kun aine palaa täydellisesti.
LHV	Lower heating value, alempi lämpöarvo, tehollinen lämpöarvo. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on veden höyrystymislämmön verran alempi kalorimetristä lämpöarvoa.
HTC:	Hydroterminen karbonointi (hydrothermal carbonization) on teknologia, joka jäljittelee hiilen muodostumista biomassasta luonnossa miljoonien vuosien aikana. Käsittely perustuu lämpöön ja paineeseen.
Hönkä:	(Evacuated gas), nesteestä haihtuvat kaasut. HTC-prosessissa pääosin hiilidioksidia ja vesihöyryä.
Kakku:	Suodospuristimella lietteestä puristetut tiilimäiset hiilikappaleet.
NO _x	NO _x on yhteisnimitys kaasuille, joka kattaa typpimonoksidin (NO) ja typpidioksidin. (NO ₂)

- Operointi: Käytännön työn suorittaminen tai prosessien käytännön soveltaminen. Esim. venttiilin avaaminen/sulkeminen, prosessiparametrien muutos ja niin edelleen.
- Suodos: Biomassasta suotautunut tai erottunut neste.
- SS Suspended solids. Suspendoitunut kiintoaine, jossa kiinteä aine on sekoittunut niin hienojakoisesti nesteeseen, että seos saostuu hitaasti.
- TS Total solids, sisältää liuenneiden kiintoaineiden ja suspendoituneiden kiintoaineiden kokonaismäärän nesteessä.
- TRS Total Reduced Sulphur, haisevat rikkiyhdisteet.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyö käsittelee Stora Enso Heinolan Fluting tehtaalle käyttöön- otettavan HTC-pilottilaitoksen omaisuuden ja operointivastuun siirtoa laitetoimit- tajalta Stora Ensolle. Työn toimeksiantajana toimi Stora Enso Oyj. Tavoitteena on luoda kattavat työnopastus- sekä kunnossapidon ohjeistukset sekä toiminta- mallit erilaisissa tilanteissa. Toimintamallit sisältävät ohjeistuksen päivittäisistä käyttäjäkunnossapidon tehtävistä ja tarkastuksista sekä toimintatavat erilaisissa miehitystilanteissa. Työhön kuuluu myös pohdintaa muutosprojektin läpivien- nistä sekä käyttöhenkilöstön muutosjohtamisesta.

Keskeisimmät sidosryhmät ovat HTC-laitoksen suunnittelija ja toimittaja, tekno- logiayritys C-Green ja tekniikan testaajana toimiva Stora Enso. Muita pääkump- paneita projektissa ovat ÖMV joka on valmistanut laitteiston sekä EU:n riskira- hoittajayhtiö InnoEnergy. Projektin tavoitteena on rakentaa maailman ensimmäi- nen kaupallistettu HTC-laitteisto pohjautuen C-Greeniin kehittämään teknologi- aan.

2 Taustatietoa

2.1 Stora Enso Heinolan Fluting-tehdas

Stora Enso Heinolan Fluting tehdas on integroitu sellu- ja kartonkitehdas, joka nimensä mukaisesti sijaitsee Suomessa Heinolan kaupungissa. Tehtaalla tuote- taan puolikemiallista flutingia eli aallotuskartonkia aaltopahviteollisuuden tarpei- siin. Tehtaan maksimituotantokapasiteetti on 300 000 tonnia vuodessa, mutta todelliset tuotannot ovat olleet 2004–2014 tarkastelujaksolla 226 000–276 000 tonnia lopputuotetta. [1.]

2.2 Yhteistyökumppanit ja laitostoimittaja

Tämän työn tekstiosiossa pyritään käyttämään toimittajasta ja muista yhteistyö- kumppaneista nimitystä ”toimittaja”, ”kumppani” tai ”yhteistyökumppani”, jotta

pilottilaitoksen sekä projektin aikaiset haasteet ja prosessiongelmien eivät luo negatiivista stigmaa laitostoimittajalle tai käytetyille teknologioille. Pilottihankkeille on tyypillistä suuri operatiivisten ongelmien määrä, ja niistä pyritään eroon aktiivisella kehitystyöllä. Tämä työ on toteutettu laitoksen koeajo- ja käyttöönottovaiheessa, joten käytettävyyden ja tehokkuuden optimointi oli käytössä koko työn ajan. Laitostoimittaja on ruotsalainen yritys, joka on perustettu 2014, ja se tarjoaa jätevesilietteiden käsittelyratkaisuja. Toimittajan tavoite on tulla maailman johtavaksi lietteidenkäsittelyratkaisuja tarjoavaksi yritykseksi. Yrityksen nuoresta iästään johtuen laitteistoja ei ole vielä onnituttu kaupallistamaan ja toimittajan ensimmäinen teollisen kokoluokan HTC-pilotti laitos on rakennettu Heinolan Rautsaloon Stora Enson Fluting tehtaalle. Toimittajan tarjoama laitekoko-naisuus on OxyPower HTC. Siinä yhdistyy kaksi teknologiaa: hydroterminen karbonointi (HTC) sekä märkähapetus.

2.3 Fluting tehtaan prosessit

Heinolan Fluting tehdas on tehdasintegraatti, eli samalla tehtaalla on sekä kartonkitehdas ja sellutehdas. NSSC-massatehdas (puolikemiallinen massa) poikkeaa jonkin verran kraft-sellutehtaista, jotka ovat yleisempiä Suomessa. Etenkin kemialliset tuotantoprosessit pohjautuvat erilaiseen menetelmään. Alla on karkeasti käsiteltynä Heinolan Fluting tehtaan prosessit ja tuotantoketjut.

2.3.1 Raakapuun käsittely

Tehtaalle saapuva raakapuumateriaali on pääasiassa lehtipuuta. Tukit kuoritaan kuorimolla kuorimarummussa, kuorimarumpu on suuri pyörivä rumpu, jonka tarkoituksena on saada rummun sisällä olevat tukit liikkeeseen. Liikkuvat puut kuoriutuvat toisiinsa kolhiintumisen ja hankautumisen johdosta. Rummun tehtävänä on myös erottaa irronnut kuori ja roska puuvirrasta. Kuorinnan jälkeen tukit haketetaan ja seulotaan standardoitua laatumääritystä vastaavaksi hakkeeksi. [2.] Kuvassa 1. koko tehtaan tuotantokaavio.

2.3.2 Puolisellun valmistus

Seuraava prosessin vaihe on massan valmistus NSSC (Neutral Sodium Sulfite Cooking) prosessilla. Massaosasto koostuu hakevarastojen purkulaitteista, hakkeenkäsittelylaitteista, lehtipuuhakkeen pesusta, keittämöstä, jossa on neljä keitinlinjaa (kolme lehtipuuhakkeelle ja yksi havupuuhakkeelle), pesemö sekä pesun hakkeen varastointi. Hake saapuu hakevastoista pesun ja seulonnan kautta keittämölle. Keittämön tarkoituksena on valmistaa lämmön ja keittokemikaalien avulla kartonkikoneella raaka-aineena käytettävää NSSC-sellua, joka koostuu lyhytkuituisesta lehtipuumassasta ja pitkäkuituisesta havupuumassasta. Hakkeen keitto tapahtuu neljässä jatkuvatoimisessa putkikeittimessä, jossa hake reagoi höyryn sekä keittokemikaalin kanssa. Keiton jälkeen hakesulppu laimennetaan suodoslipeällä ja se syötetään kuiduttimelle. Kuidutuksen jälkeen massa välivarastoidaan kuitukyppiin, josta se johdetaan pesemölle. [4.] Massan mukana pesemölle seuraa käytetty keittoneste (mustalipeä), joka sisältää liuenneena sekä keittoon käytetyt kemikaalit että myös puuaineesta keitossa liunneen osan. Pesun tehtävänä on erottaa keitetty massa mustalipeästä siten, että pienellä mustalipeän laimentumisella saadaan riittävän puhdasta massaa. Mustalipeän sisältämien kalliiden keittokemikaalien tehokas talteenotto on sellunvalmistuksen kannattavuuden tärkeä edellytys. Pesun jälkeen massa varastoidaan pesukyppiin ja sakeamassatorniin, josta kartonkikoneen henkilökunta purkaa massaa käyttöönsä tarpeidensa mukaan. [2]

2.3.3 Kemikaalien talteenotto ja kemikaalikierrot

Käytettyä keittolientä eli mustalipeää haihdutetaan haihduttamalla ja sen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan. Raaka-aine on siis keittämöltä saapuva laihamustalipeä ja lopputuotteena vahvamustalipeä. Haihdutinsarjan aikana kuiva-ainepitoisuus nostetaan 11 %:sta noin 55 %:iin. Kun riittävä kuiva-ainepitoisuus on saavutettu, vahvamustalipeä johdetaan voimalaitokselle ja poltetaan soodakattilassa. Mustalipeän poltto soodakattilassa vaatii lipeän kuiva-ainepitoisuudeksi noin 70–85 %. Heinolan Flutingin haihdutinsarja kykenee nostamaan KAP% vain noin 55 % joten lipeää täytyy väkevöidä vielä ennen soodakattilassa polttoa. [2; 4.]

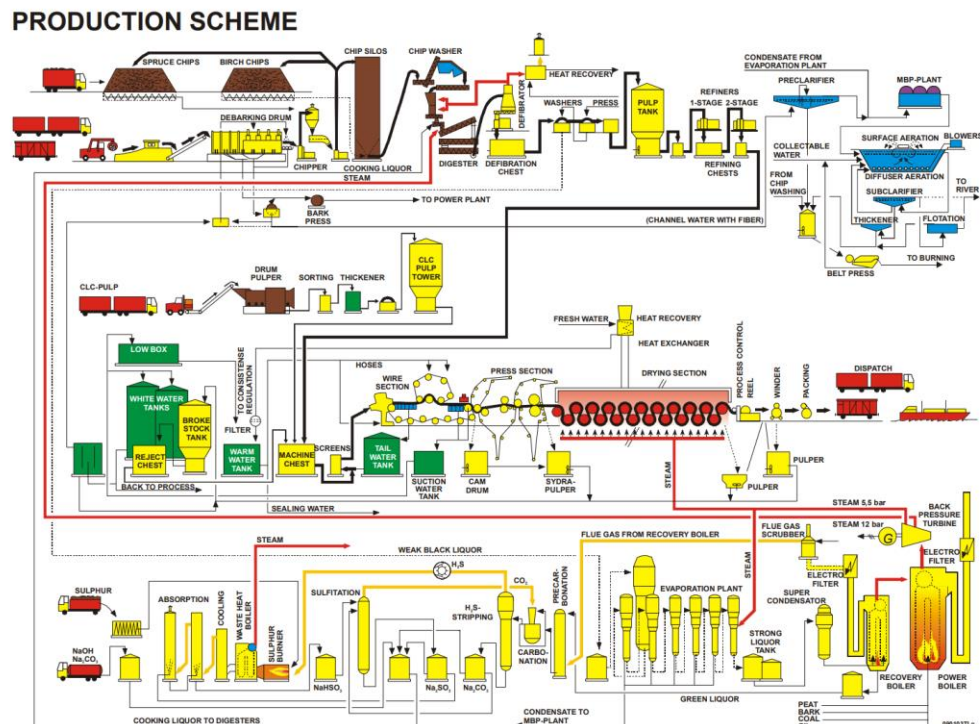
Soodakattila on tärkeä osa tehtaan kemikaalikiertoa. Palotapahtumassa mustalipeästä palaa keittoprosessissa liuenneet orgaaniset aineet vapauttaen energiaa. Lämpöenergiaa käytetään korkeapainehöyryn valmistamiseen tehtaan tarpeisiin. Jäljelle jääneet kemikaalit valuvat suolasulana kattilan pohjalle. Sula valuu liuottajaan, jossa se laimennetaan. Laimennuksen jälkeen syntynyt viherlipeä selkeytetään ja johdetaan recoveryosastolle regeneroitavaksi. [2; 4.]

Recovery- osastolla valmistetaan voimalaitoksen soodakattilalta saatavasta viherlipeästä keittämöllä käytettävän keittoliuoksen raaka-aineet. recovery prosessi alkaa esikarbonoinnista, jossa viherlipeä ja soodakattilan savukaasujen hiilidioksidi reagoi ja viherlipeä karbonoituu. Viherlipeä ohjataan esikarbonointitornilta karbonointireaktoriin, johon johdetaan myös hiilidioksidikaasua (CO_2) sulfitoinnista. Karbonointireaktori on puoliksi sisään rakennetulla sykloonalla varustettu säiliö, jossa kierrätetään karbonoitavaa viherlipeää. Karbonoinnin ja strippauksen reaktiotuotteet ovat natriumkarbonaatti eli sooda (Na_2CO_3) ja rikkivety (H_2S). Karbonointireaktorin paine pidetään suurempana kuin siinä olevien kaasujen osapaineiden summa, jottei rikkivety vielä pääse vapautumaan. [2; 4.]

Seuraava prosessivaihe on strippaus, jossa karbonoitu kemikaaliseos hajoitetaan alipaineen ja höyryn avulla. Reaktiotuotteena syntyy natriumkarbonaattia ja rikkivetyä. Höyryn ja alipaineen avulla stripattu rikkivety sisältää kaiken kemikaalikierrosta talteen saadun rikin. Kaasuseoksesta lauhdutetaan strippaushöyryn vesi ja lähes 100 %:n rikkivetykaasu johdetaan tyhjöpumpun, vedenerotussäiliön ja vesilukon kautta rikkiuunille poltettavaksi. [4.] Rikkiuunissa poltetaan rikkivety ja make-up rikkiä kemikaalihäviöiden korvaamiseksi. Rikkiuunin polttolämpötila on noin $1000\text{ }^\circ\text{C}$ jossa rikkidioksidi reagoi rikkioksidiksi (SO_2). Tämän jälkeen SO_2 kaasut johdetaan absorptioon, joissa natriumsulfiittia kierrätetään ja SO_2 kaasu absorptoituu siihen. Tämän jälkeen absorptiosta saatu natriumbisulfiitti johdetaan sulfitointireaktoriin jossa strippauskolonnin natriumkarbonaatti ja natriumbisulfiitti reagoivat. Lopputuotteena syntyy toinen keittoliuoksen komponenteista. [2; 4.]

Haihduutin yksiköissä syntyvä kondensaatti ohjataan jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi anaerobisesta biokaasun tuotantoa varten. Puolisellun pesusta

syntyneet kuitujätteet johdetaan aerobiseen jätevedenkäsittelyyn. Jätevesien liete on ongelmallista sen loppusijoitusmahdollisuuksien niukkuuden vuoksi. [2.]



Kuva 1. Tehtaan raaka-aine ja kemikaalikierrat [2.]

2.3.4 Voimalaitos

Tehtaan voimalaitoksella tuotetaan tehtaan tarpeisiin lämpöä, höyryä sekä sähköä. Puunkäsittelyssä syntyvät metsätähteen hyödynnetään polttamalla voimakattilassa. Tehtaalla käytetään tukipolttoaineina turvetta, hiiltä, öljyä ja biomassoja. [2]

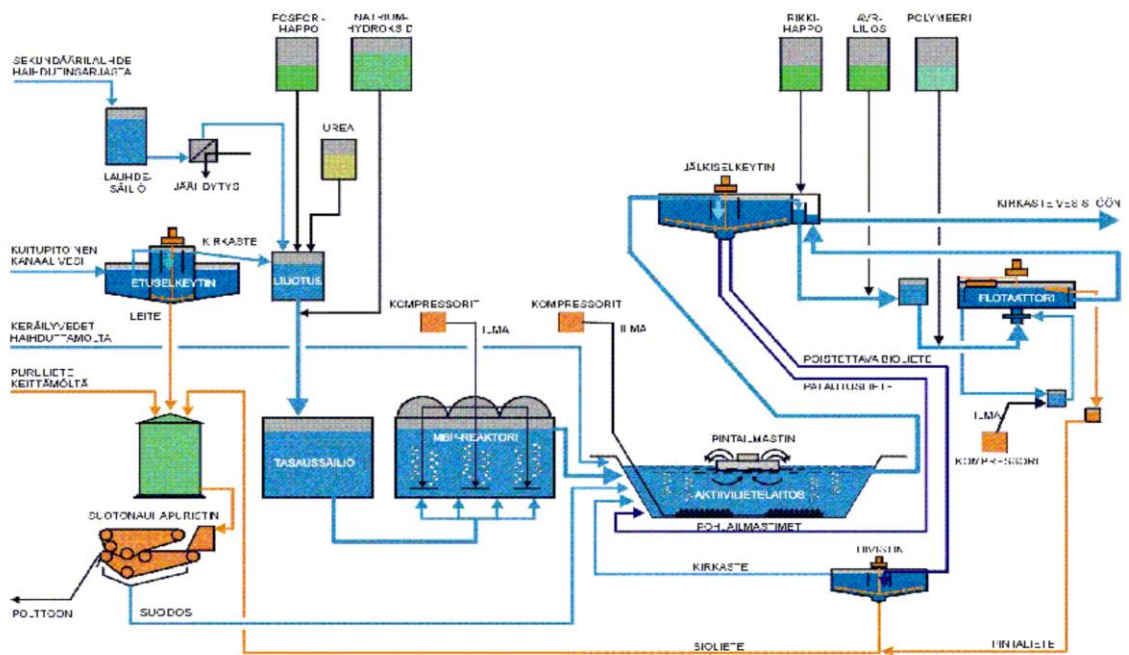
2.3.5 Flutingin valmistus kartonkikoneella sekä jälkikäsittely

Massa saapuu massojenkäsittelyosastolle sakeamassatornista ja lisämassinjalta, jossa tehdään lisämassaa havusellupaaleista. Massa kulkee lyhyen kierroksen kautta, jonka tarkoituksena on sekoittaa massakomponentit tasalaatuiseksi virtaukseksi. Tämän jälkeen massa ohjataan perälaatikkoon, joka levittää massasuspension kartonkikoneen viiran leveydelle. Massasuspensio jatkaa

matkaansa viiraosalla, jonka tarkoitus on poistaa vettä massasta. Viiraosalla vedenpoisto suoritetaan foililistojen, imulaatikoiden, imutelojen ja muodostustelosten avulla. Viiraosalle on sijoitettu höyrylaatikko, jolla säädetään kosteusprofiilia. Raina menee tästä puristinosalle. Puristinosalla rainasta poistetaan vettä mekaanisesti puristamalla. Samalla rainan paksuus pienenee ja kuitujen välinen kontaktipinta-ala kasvaa. Puristinosalla tapahtuvan märkäpuristuksen tehtävänä on poistaa mahdollisimman paljon vettä ja tiivistää sitä. Tämän jälkeen kartonkirainaa kuivataan haihduttamalla. Haihdutuskuivatuksen tarkoitus on siirtää vettä pois rainasta minimikustannuksin, mahdollisimman tasaisesti ja huonontamatta laatua halutun lopullisen kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi. Tämän jälkeen kartonki rullataan pope-rullaimella. Kartonkikoneella valmistunut konerulla siirretään pituusleikkurille, jossa se leikataan ja rullataan hylsyjen ympärille asiakkaan haluamaan leveyteen. Tämän jälkeen rullan pakataan, punnitaan ja siirretään varastoon, josta ne lähtevät aikanaan asiakkaille. [5.]

2.4 Tehtaan jätevesien ja lietteiden synty sekä käsittely

Heinolan tehtaan jätevesilaitokseen kuuluvat lietteen käsittely, MBP-laitos, aktiiviliete, etuselkeytin sekä tertiääriflotaatio. [Kuva 2.] Jätevesilaitoksella käsitellään kaikki tehtaalla syntyvät jätevedet, jotta ne voidaan laskea takaisin vesiin ja sivuvirrat saadaan kerättyä talteen muuta käyttöä varten. Pääosin puhdistamon kuorma syntyy kahdesta eri vesijakeesta. Sekundäärilauhteet ovat toinen pääkuorma ja merkittävämpi kuormittaja on kuorimolla syntyvät jätevedet. Kuorimon jätevedet sisältävät myös massatehtaalla ja kartonkikoneella syntyvät kuitupitoiset vedet. Pieniä virtoja muodostavat myös tehtaalla syntyvät suodokset sekä saniteettivedet ja keräilyvedet. Seuraavaksi jäteveden käsittelyn perusprosessit osastoittain. [2.]



Kuva 2. tehtaan jätevesien prosessikuvaus. [2.]

2.4.1 Etuselkeytys

Etuselkeyttimen tarkoitus on erottaa kiintoaine vedestä laskeuttamalla. Kiintoaine laskeutuu altaan pohjalle ja kirkaste yli kaataa altaasta. Kirkaste ohjataan MBP laitokselle ja laskeutunut kiintoaine lietesäiliöön.

2.4.2 MBP-laitos (minimum biosludge production)

MBP-laitos koostuu liuotussäiliöstä, johon kerätään MBP-laitokselle tulevat vedet, tasaussäiliöstä ja MBP-reaktorista. Syötettävä jätevesi, pääosin lauhde valmistellaan säätämällä tulevan veden lämpötilaa sekä pH arvoa. Lipeä toimii happamuuden säätö kemikaalina. Liuotussäiliöön syötetään myös typpeä. Reaktorin lämpötila pyritään pitämään 35–37 °C:ssa. Tasaussäiliön jälkeen pH pyritään pitämään 6,0–6,5:ssä. Reaktorikäsittelyn jälkeen pH asettuu noin 8,0:aan. [4.]

Bioreaktori toimii anaerobisessa tilassa ja toimintaperiaate on että bakteerit syövät jätevedestä COD kuormaa. Prosessissa muodostuu biokaasua (CH₄) ja

normaalissa ajotilanteessa sillä tuotetaan tehtaalle energiaa ja prosessilämpöä polttamalla se voimalaitoksella. Erikoistilanteissa kaasun voi polttaa myös ”soihdussa”. [2.]

2.4.3 Aktiivilietelaitos

Aktiivilieteprosessi tapahtuu laitoksen ilmastusaltaassa. Altaassa elävä bakteerikanta syö runsas happisissa olosuhteissa jätevedestä COD- kuormaa tuottavia ainesosia. (COD = KHK = Kemiallinen hapenkulutus) Ilmastusaltaan pohjassa on pohjailmastimia joista syötetään ilmaa veteen. Vuodenajasta riippuen ilmastusaltaan happipitoisuus pyritään pitämään 3000–3500 mg/l. [2.]

2.4.4 Jälkiselkeytin

Jälkiselkeyttimessä laskeutetaan ilmastusaltaalta tulleen jäteveden mukana tullutta bakteerimassaa sekä muuta kiintoainetta. Osa lietteestä poistetaan prosessista ja se ajetaan lietesäiliöön tiivistimen kautta. [2.]

2.4.5 Tertiääriflotaatio

Tertiääriflotaatio toimii jätevesien puhdistusketjun viimeisenä vaiheena. Tertiääriflotaatiossa mikroskooppisen pienet ilmakuplat sekä saostuskemikaalit poistavat vedestä. Tällä pyritään poistamaan vielä bakteerikanta vedestä. [2.]

2.4.6 Lietteen kuivatus

Kuivatuslaitos koostuu kahdesta lietteen keräilysäiliöstä, kahdesta polymeerin annostelulaitteesta sekä lietelingosta ja Espistä, eli suotonauhapuristimesta. Liete pyritään kuivaamaan mahdollisimman korkeaan sekä polymeerejä käyttämällä sekä lietteen ominaisuuksista riippuen joko Espillä tai lingolla. Liete koostuu pääosin hakepesussa erotetusta puusta sekä etu- ja tertiääriflotaattorissa syntyvästä lietteestä. Espin liete koostuu pääosin purusta ja etuselkeyttimen

lietteestä ja ajetaan lietteen keräilyssäilystä suotonauhapuristimelle josta se edelleen johdetaan voimalaitokselle poltettavaksi. Toiseen lietesäiliöön kerätään tiivistimen liete tertiäariflotaatiossa syntyvä liete. Liete ajetaan lietelingolle, jossa lietteestä pyritään poistamaan mahdollisimman paljon vettä. Suodos palaute-taan takaisin MBP laitokselle ja liete toimii HTC-laitoksen syötteenä. Lingon lie-tettä käytettiin ennen maisemointitarkoituksiin tai se poltettiin voimalaitoksella. [2.]

3 Yleistä HTC-prosessista

3.1 Prosessin tavoitteet

HTC-laitoksen tarkoitus ja suunniteltu käyttökohde on muuntaa märkä biologi-nen liete kiinteäksi polttoaineeksi. Metsäteollisuudessa ja sellun valmistuksessa syntyvät jätevesilietteet ovat ongelmallisia käsitellä ja hankalia uusiokäytettä-väksi. Ongelmia nykyisessä lietteessä ovat esimerkiksi lietteen sisältämät bak-teerit sekä pistävä haju, jotka aiheuttavat erityisvaatimuksia lietteen käsittelylle. Lietettä on myös logistisesti hankala ja epätehokasta siirrellä, sillä lietteen pai-nosta noin 85-% on vettä. [4.] Nykyisin lietettä poltetaan voimakattiloissa, mutta lietteen polttaminen vaatii tukipolttoainetta, jotta tehokkaat palamisolosuhteet saadaan ylläpidettyä. Huono poltettavuus johtuu lietteen korkeasta vesipitoisuu-desta. Ominaisuuksiensa vuoksi lietettä ei saa mekaanisesti kuivattua riittävästi, jotta se olisi käyttökelpoista polttoainetta. Tämä johtuu siitä, että vesi on biologi-sen solun soluseinämän sisällä, josta sitä ei saa mekaanisesti poistettua.

Käsiteltäessä liete HTC-prosessilla solukalvo saadaan rikottua ja tämän seu-rauksena veden suotautuminen paranee huomattavasti. Kuivasta massasta saadaan kiinteää puristetta, esimerkiksi pellettejä tai tiiliä. Käsitellyn lopputuo-teen kuiva-ainepitoisuus on 45–60 %. Polttoaineena se on energianettoposiitiivi-nen käytettäessä voimakattiloilla. HTC-laitteiston on määrä pitää myös lämpö-kemiallista prosessia yllä lämmön talteenottolaitteiston sekä eksotermisen reak-tion ansiosta. [7; 8; 9]

3.2 WetOx prosessi lyhyesti

HTC-WetOx prosessi on jatkuvatoiminen prosessi, jonka tarkoituksena on muuntaa märkä biomassasta koostuva liete polttokelpoiseksi biopolttoaineeksi lämmön- ja sähköntuotantoon. Toimintaperiaate perustuu märän lietteen hydrotermiseen karbonointiin eli märkähiiltämiseen (HTC). Se on teknologia, joka jäljittelee tapaa, jolla hiili on muodostunut märästä biomassasta luonnossa miljoonien vuosien aikana. HTC-prosessi on yhdistettynä märkähapetukseen. Lämmön talteenottoteknologia märkähapetusprosessiin yhdistettynä mahdollistaa prosessilämmön ylläpidon ilman ulkoista lämmönsiirtoa prosessiin, pois lukien laitoksen käynnistäminen. [9.]

Laitoksen suunnittelukapasiteetti on noin 16 000 tonnia käsiteltyä biolietettä vuodessa, joka on noin 1100 tonnia valmista polttoainetta 45–50 %:n kuiva-ainepitoisuudella. [8; 9.]

Liete tuodaan pyöräkuormaajalla vastaanottokaukaloon, josta lietettä annostellaan prosessiin tarvittava määrä. Lietteeseen tulisi olla tasalaatuista ja se ei saisi sisältää suuria partikkeleita. Tämän vuoksi lietekaukalon jälkeen liete kulkee repijäväljän lävitse, jossa liian suuret partikkelit hajotetaan riittävän pieniksi. Suurin sallittu partikkelikoko on 6 mm. Lietteeseen sekaan pumpataan lämmintä prosessisuodosta ja liete ohenee.

Tämän jälkeen lietettä laimennetaan ja lämmitetään neljässä vaiheessa. Lämmitys tapahtuu HTC-, ja O₂ reaktiossa syntyneillä kuumilla suodoksilla sekä paisunta höyryllä.

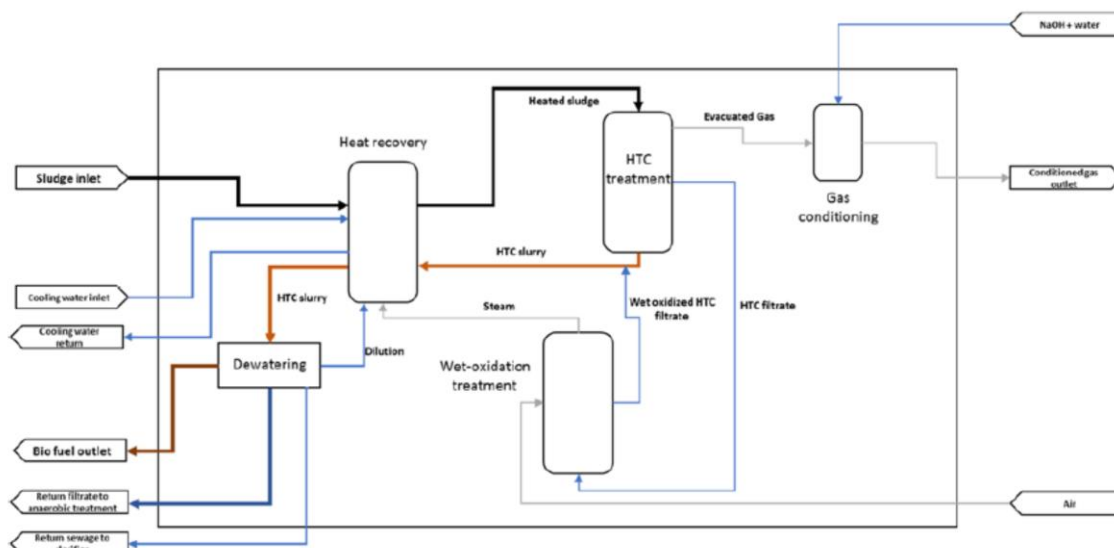
Kuumennettu liete käsitellään HTC-reaktorissa vesipitoisissa olosuhteissa noin 180–250 °C lämpötilassa 15–25 bar:in paineessa. Reaktioiden seurauksena liete hiiltyy. HTC-käsittelyn jälkeen liete laskeutetaan kahdeksi eri jakeeksi, suodokseksi sekä lietteeksi. HTC-käsitelty liete laskeutuu reaktorin pohjalle ja kiintoaineesta vapaa suodos nousee pintaan. Suodos poistetaan reaktorista ylikäntönä ja reaktorin liete poistetaan pumpaamalla reaktorin pohjalta. Suodoksen COD kuorma on suuri ja se sisältää hiiltä sekä orgaanisia aineita.

Kirkaste sekoitetaan happeen O₂ reaktorissa, jossa happi ja kirkaste reagoivat keskenään muodostaen lämpöä samalla nostaen reaktorin painetta. Toisin kuin tavallinen palotapahtuma, märkähapetusreaktio tapahtuu nesteliuoksessa.

Liennut happi reagoi tulistetuissa olosuhteissa liuoksen sisältämien liuenneiden ja suspendoituneiden orgaanisten aineiden kanssa. Tyypilliset olosuhteet märkähapetukselle ovat 200–220 °C ja 20–40 bariin. Tätä teknologiaa hyödyntämällä toimittajan kehittämä HTC-prosessi ei tarvitse ulkoista lämpöenergiaa. Happi tuotetaan happiseulalla ympäröivästä ilmasta. [7; 10.]

Hapetusreaktorin jälkeen hapetettu suodos sekoitetaan HTC-reaktorin pohjalietteeseen ja laimennettu liete ohjataan lämmön talteenottoyksikköön. Lämmön talteenotto koostuu kolmesta paisuntasäiliöstä. HTC-liete jäähdytetään vaiheittain kolmessa paisuntasäiliössä ja paisunnassa vapautuu höyryä. Höyryn mukana vapautuva hukkalämpö uusiokäytetään HTC-reaktoriin tulevan syötön esilämmitykseen. [10.]

Lämmön talteenottovaiheen jälkeen liete laskeutetaan laskeutussäiliössä. Erottuva suodos käytetään tulevan lietteen laimennuksessa ja jäähtynyt HTC-liete kuivataan mekaanisesti suodospuristimessa. Puristimelta erottuva suodos, mukaan lukien liuenneet komponentit palautetaan tehtaan omaan jätevesikiertoon jäähdytyksen jälkeen. Suodospuristimen suodos sekä pesuvesi johdetaan erikseen tehtaan jätevesilaitoksen anaerobiseen reaktoriin tai häiriötapaüksissa esiselkeyttimelle. Suodinpuristimelta tulevat ”kakut” ovat valmista tuotetta eli biopolttoainetta. Prosessin vuokaavio nähtävissä kuvassa 3.



Kuva.3 HTC Prosessin vuokaavio. [10]

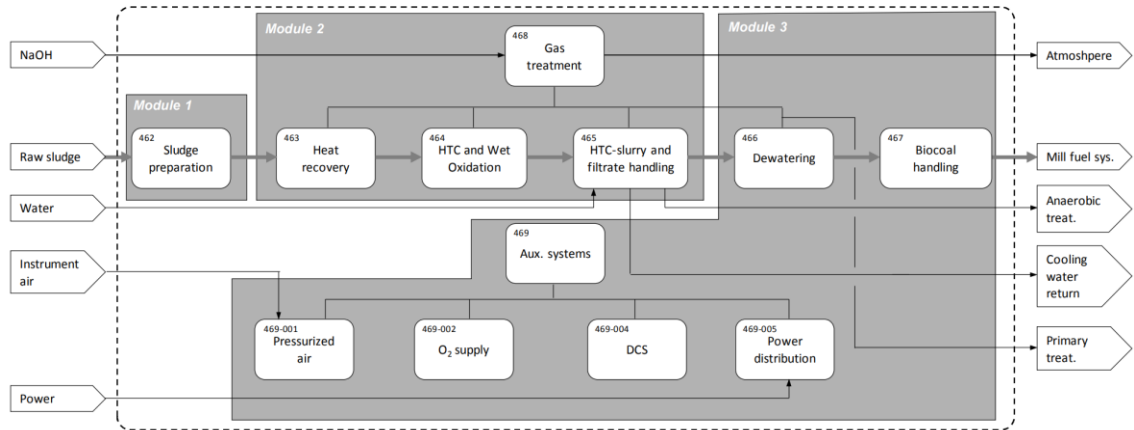
Reaktioissa sekä paisutuksessa syntyvät höngät käsitellään kaasunkäsittelyjärjestelmällä, jossa kaasut jäähdytetään ja pestään ennen ilmakehään päästämistä.

HTC-laitos koostuu kolmesta moduulista (Moduulit 1–3). Kuvasta X selviää prosessin syötteet, lopputuotteet sekä sivuvirrat. Moduulissa.

Moduuli 2 sisältää keskeisimmät laitteet itse HTC prosessiin. Lämmin lieju pumpataan kuvan 4 mukaisesti alueelle 463 jossa tapahtuu märkähapetus ja HTC reaktio. HTC-reaktorissa viipymäaika lietteelle on noin 1 tunti. Reaktiossa erotetaan kaksi massa virtaa toisistaan. kiintoainevapaa HTC-reaktorin suodos ja runsaspartikkelinen reaktorin lieju. Suodos saatetaan reagoimaan hapen kanssa O₂-reaktorissa alueella 464.[Kuva 1] Moduuli 2 sisältää vielä lämmön talteenottojärjestelmän eli paisuntasäiliöt ja kaasujen käsittely järjestelmän.

Moduulissa 3 jäähdytetty HTC-liete sakeutetaan laskeutus-säiliössä, jonka jälkeen lieju ja suodos jäähdytetään epäsuorassa lämmönvaihtimessa ja pumpataan vedenpoistoon suodospuristimelle. Vedenpoistossa erotettu suodos käyte-tään laimennusliuoksena lietteen vastaanotossa (Moduuli 1). [10.]

Prosessissa syntyvät kaasut (H_2S , CO_2) kerätään talteen paineellisesta atmosfäärisäiliöstä. Poistokaasut käsitellään kaasunkäsittelyssä (Alue 468) jossa ne jäädytetään ja pestään ennen ilmakehään päästämistä.



Kuva 4. HTC-prosessin keskeisimmät syötteet ja ulosotot [10.]

3.3 Laitoksen energiatehokkuus

Prosessin energiatehokkuuden näkökulmasta on tavoitteena minimoida ulkopuolinen energian käyttö. Tämä sisältää sähkön, prosessilämmön sekä ulkoiset polttoaineet. Prosessi ei tarvitse ulkoista lämmönlähdettä paitsi laitoksen käynnistyksen yhteydessä.

Pääprosessiyksiköt ja teknologiat prosessissa ovat seuraavat

- Märkähapetusprosessi on voimakkaasti eksoterminen ja lämpö otetaan talteen ja käytetään prosessin muissa vaiheissa.
- Kuumen HTC-lietteen vaiheittainen paisuntajäähdytys
- Vaiheittainen suora paisuntahöyryn lämmön talteenotto sekoittamalla höyryä kylmään lietteeseen.
- Korkeat standardimääritykset eristeille ja sähkömoottoreille sekä kompakti sijoittelu jotta putkistot voidaan pitää lyhyinä ja näin ollen minimoida lämpöhäviöt.

Heinolan Fluting tehtaan liete on linkouksen jälkeen noin 30 °C. Lingon jälkeen liete varastoidaan kuitenkin ulkona, joten lämpötila vaihtelee suuresti riippuen sääolosuhteista sekä lietteen viipymääjasta varastossa. [2; 10.]

3.4 Laitoksen ympäristönäkökohdat ja päästöt

HTC-laitos ei aiheuta välittömiä ympäristöriskejä eikä päästöjä normaalissa tilanteessa. Koska prosessi perustuu pääasiassa lämpöön ja paineeseen, ei ympäristöriskit poikkeakaan suuresti biolietteen aiheuttamista ympäristöriskeistä.

Prosessissa syntyy 3 erilaista nestevirtaa: puhdas jäähdytysvesi, pesuvedet ja ylikaadot sekä suodinpuristimelta palautuva suodos. Suodos palautetaan tehtaana anaerobiseen jätevesienkäsittelyyn, Pesuvedet sekä ylikaadot ohjataan takaisin jätevesienkäsittelyyn etuselkeytykseen ja puhtaat jäähdytysvedet menevät tehtaana puhdasvesikanaalin kautta vesistöön. Anaerobiseen jätevesienkäsittelyyn palautettu suodos mahdollistaa biokaasun tuotannon kasvattamisen anaerobisessa reaktorissa. Pesuvesien ei oleteta sisältävän liuennutta COD:ta ja kiintoainepitoisuus on matala. HTC-laitoksen aiheuttama hydraulinen kuorma etuselkeyttimelle on noin 1 % joten se ei vaikuta sen toimintaan merkittävästi. Jäähdytysvedet eivät ole suorassa kontaktissa prosessin kanssa, joten ne pysyvät puhtaina ja tästä syystä ne on turvallista ajaa puhdasvesikanaaliin. [10; 11.]

Ilmapäästöt muodostuvat pääasiassa prosessissa syntyvistä poistokaasuista. Kaasut käsitellään kaasunkäsittelyjärjestelmässä ennen taivaalle päästämistä. Prosessissa syntyviä kaasuja ovat pääasiassa TRS, NO_x, SO₂ ja hiukkaspäästöt. [10; 11; 12.]

Kaasut käsitellään kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa kaasut lauhdutetaan, jolla vähennetään hapottomia yhdisteitä (DMS, NH₃). Toisessa vaiheessa kaasut pestään kaasupesurilla käyttäen vesisumua. Sen tarkoituksena on poistaa kaikki mahdollinen kiintoaine kaasuista. Kolmannessa vaiheessa kaasut pestään alkalisesti, eli poistetaan kaasuista happamat yhdisteet.

4 HTC-laitos tehtaalla ja sen käyttöönotto sekä koetoiminta

Laitoksen rakentamisen päämääränä on ratkaista jätevesilietteistä syntyvät ongelmat tehtaalla. Selluteollisuudessa syntyvät lietteet ovat hankalasti käsiteltäviä sen ominaisuuksien johdosta. Lietteiden sisältämät bakteerit aiheuttavat infektioriskin sen kanssa työskenteleville ihmisille. Lietteiden kuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 15 % sen käsittely ja loppusijoitus on hankalaa. Lietettä on poltettu tehtaalla PR2 voimakattilassa, mutta se ei ole sellaisenaan toimiva ratkaisu sillä liete vaatii tehokkaan palamisen ylläpitämiseksi energiasisällöltään vahvasti nettopositiivisen apupolttoaineen riittävän palamislämpötilan ylläpitämiseksi. Suoraan lingolta syötettynä liete vastaa palamisominaisuuksiltaan pitkälti veden polttamista. [3; 4.]

Lietteiden kuljettaminen pois tehtaalta on myös tehotonta ja kallista, sillä liete on painavaa sen suuren vesipitoisuuden vuoksi. Tämän vuoksi kuljetuskustannukset ovat suuret etenkin vuonna 2022 reilusti kohonneiden polttoaineiden hintojen vuoksi.

HTC laitoksella on pyritty ratkaisemaan nämä ongelmat muuntamalla liete biohiileksi. Hiili on tarkoitettu käyttämään polttoaineena tehtaalla voimakattilassa. Valmiin biohiilen alempi lämpöarvo on noin 17.4 MJ/kg [Taulukko 1.] MBP-laitoksella tuotettu biokaasu poltetaan myös. Aiemmin jätteeksi jäävästä lietteestä saadaan tuotettua toimiva polttoaine, joka luovuttaa energiaa palamisprosessiin, joten se lisää myös taloudellisesta kannattavuutta. HTC laitoksen operointikustannusten on määrä olla myös alhaiset, sen toimiessa ilman ulkoista energiaa prosessin ollessa käynnissä.

Taulukko 1. Syötteen ja lopputuotteen ominaisuudet [10.]

		Aerobic sludge from mill	HTC biofuel
Dryness	%	13-17	~ 45
Density	kg/m ³	~ 1 000	1 100-1 300
C	mass-%	48.4	50.9
H	mass-%	5.7	5.1
O	mass-%	23.6	17.2
S	mass-%	2.5	1.5
N	mass-%	7.9	4.6
Cl	mass-%	0.05	0.02
Ash	mass-%	11.9	21.0
Cal. heating value	MJ/kg DS	20.9	21.5
Eff. heating value	MJ/kg DS	4.1	17.4
ditto, wet	MJ/kg	0.6	7.8
ditto	MWh/t	0.2	2.2

HTC laitoksella suoritettiin ulkoisten jätevesilietteiden koeajot kesäkuussa 2022. Myös muita syötteitä kokeillaan mahdollisesti vuoden 2023 aikana. Vuoden 2022 kesäkuussa suoritettiin ensimmäinen koeajo Heinolan kaupungin yhdyskuntalietteellä. Koeajo on määrä toistaa myöhemmin tänä vuonna. Muita suunniteltuja syötteitä ovat muun muassa biokaasulaitoksilla syntyvä jäännösmäädä, kalankasvatusalтаiden pohjalietteet sekä hevosen lanta. Heinolan Flutینگille rakennettu pilottilaitos toimii koko lietteiden HTC-käsittely konseptin pilottihankkeena. Toimiessaan odotetusti laitoksia rakennetaan todennäköisesti myös muille tehtaille sekä laitoksille, joissa syntyy suuria määriä biologista lietettä.



Kuva 5. HTC-laitos Heinolassa.

4.1 HTC laitoksen koetoiminta

HTC-prosessi toimii tarkkailusuunnitelman alaisena. Etelä-Suomen aluehallintavirasto on myöntänyt kaksivuotisen koetoimintaluvan Heinola Fluting tehtaalle CO₂ vapaan biopolttoaineen valmistamisesta. Koetoiminta alkoi vuonna 2019 mutta sille on myönnetty jatkolupa 1.4.2021–31.3.2023, sillä koetoimintaa ei päästy aloittamaan alkuperäisen suunnitelman mukaan. Koetoiminnalle haetaan jatkolupaa, sillä tätä kirjoittaessa haluttuihin tavoitteisiin ei ole päästy. Jatkoluvan myöntäminen on ELY-keskuksen näkemyksestä kiinni. Jos koetoimintalupaa ei myönnetä, laitokselle on saatava virallinen ympäristölupa. Sinänsä ympäristöluvan hakeminen ei ole ongelma sillä se haetaan joka tapauksessa

laitoksen siirtyessä Stora Ensolle. Koetoiminnasta ympäristöluvan alaiseen toimintaan siirtyminen suunnittelemattomasti voi aiheuttaa kuitenkin jonkin mittaisia käyttökatkoja laitokselle. [12.]

4.1.1 Yhdyskuntalietekoeajot

Kesäkuun 2022 aikana HTC-laitoksella suoritettiin koetoimintaa yhdyskuntalietteillä. Lietteet olivat peräisin Heinolan kaupungin jäteveden puhdistamolta. Koeajoilla pyrittiin selvittämään HTC teknologian soveltuvuutta myös muille syötteille, kun vain paperiteollisuudessa syntyville biolietteille. Vuonna 2023 on tarkoitus suorittaa koeajoja myös muilla syötteillä, esimerkiksi biokaasulaitosten mädätysjätteillä ja kalankasvatusalaiden pohjalietteillä. Myös hevosenlannan sopivuutta tutkitaan.

4.1.2 Tiedostetut haasteet ennen koeajoa

Koeajon suorittamiseen liittyi paljon selvitystyötä sekä mahdollisten muuttujien tunnistamista ennen koeajoa. Yhdyskuntalietteet ovat mikrobikannaltaan hyvin erilaisia tehtaalla syntyvän biolietteen kanssa. Yhdyskuntalietteelle tehtiin riskinarviointi, jonka tarkoituksena oli kartoittaa koeajoihin liittyviä riskejä. Riskinarvio tehtiin Stora Ensossa käytössä olevalla standardoidulla riskinarvioinnilla, joka toteutettiin work-shop tyylisesti. Work-shopiin pyrittiin osallistuttamaan eri tuotanto-osastoilta väkeä, (kunnossapito, tuotanto, ympäristö, suojele, laboratorio yms.) jotta riskejä saadaan tarkasteltua mahdollisimman monesta perspektiivistä. Pää tarkoituksena on se, että riskien tunnistamisen ansiosta riskien hallintaa pystytään parantamaan merkittävästi ja täten välttämään tapaturmat ja muut riskitekijät. Riskejä tunnistettiin paljon ja esimerkiksi biologisia riskejä oli runsaasti. Näitä olivat muun muassa infektiovaarat sekä tehdasalueelle aiheutuvat hajuhaitat. [13.]

Myös teknisiin ongelmiin varauduttiin sillä erilaisen lietteen käyttäytymistä ei voitu ennustaa uudessa prosessissa. Tehtaan oman biolietteen kuiva-ainepitoisuus on lingon jälkeen 13–15 %, kun taas yhdyskuntalietteen kuiva-ainepitoisuus on 27 %. Täten oli pohdittava millaisia mekaanisia ongelmia se voi

aiheuttaa prosessille ja onko lietettä esimerkiksi tarpeen ohentaa vedellä tai suodoksella. Lietettä päädyttiin laimentamaan HTC-laitoksen omalla laimennusjärjestelmällä. Raakaveden lisääminen syötteeseen ennen prosessiin syöttämistä olisi vaatinut jonkinlaisen sekoituslaitteiston. Lisäksi kylmän veden lisääminen olisi vaikuttanut merkittävästi laitoksen lämpötaseeseen huonontaan energiatehokkuutta sekä alentaen merkittävästi tuotantoa sillä veden lämmittäminen vie aikaa. Prosessista poistuva laimennussuodos on lämmintä ja sitä käytetään lietteen esilämmitykseen sekä ohennukseen ennen HTC prosessia myös normaaliolosuhteissa, joten se todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi nytkin.

Koeajo saatiin suoritettua ja konsepti saatiin todistettua toimivaksi, eli yhdyskuntalietteestä saatiin biohiiltä. Syötteen erilaisen koostumuksen vuoksi myös lopputuote erosi hieman tavanomaisesta. Kakut olivat joustavampia ja niissä ikään kuin tunki WC-paperin kuidun. Myös kuiva-ainepitoisuus oli noin 10 % korkeampi kuin biolietehiilissä.

Ajettavuudessa esiintyi kuitenkin paljon ongelmia koeajon aikana ja laitosta ei saatu pidettyä yhtäjaksoisesti käynnissä koko koeajoa. Yhdyskuntaliete aiheutti paljon enemmän tukoksia prosessiin ja se ”paloi” kiinni komponentteihin ja säiliöihin etenkin prosessin korkeapaineisimmissa osissa etenkin lämpötilojen ollessa korkeita. Yhdyskuntalietteen ollessa vähemmän viskoosia se aiheutti myös ongelmia laimennuspumpuille kasvaneiden kuormien vuoksi.

Toinen koeajo on määrä suorittaa syksyllä 2022 ja saada käyttöastetta nostettua suhteessa edelliseen yhdyskuntaliete koeajoon. [7]

4.2 Käyttöönotto ja optimointi

HTC-laitos on otettu aktiiviseen operointiin syksyllä vuonna 2021. Vuonna 2022 laitostoimittaja sekä Stora Enso on pyrkinyt yhteisvoimin parantamaan laitoksen käyttöastetta sekä optimoimaan toimintaa tehokkaammaksi. Luonnollisesti laitoksen ollessa pilotti, käytettävyydessä esiintyi ja esiintyy edelleen paljon ongelmia. Tavanomaisimpia ongelmia ovat olleet toimilaitteongelmat, tiivistevuodot sekä putkilinjojen tukkeutuminen. Käytännössä laitos on ollut käytössä vasta

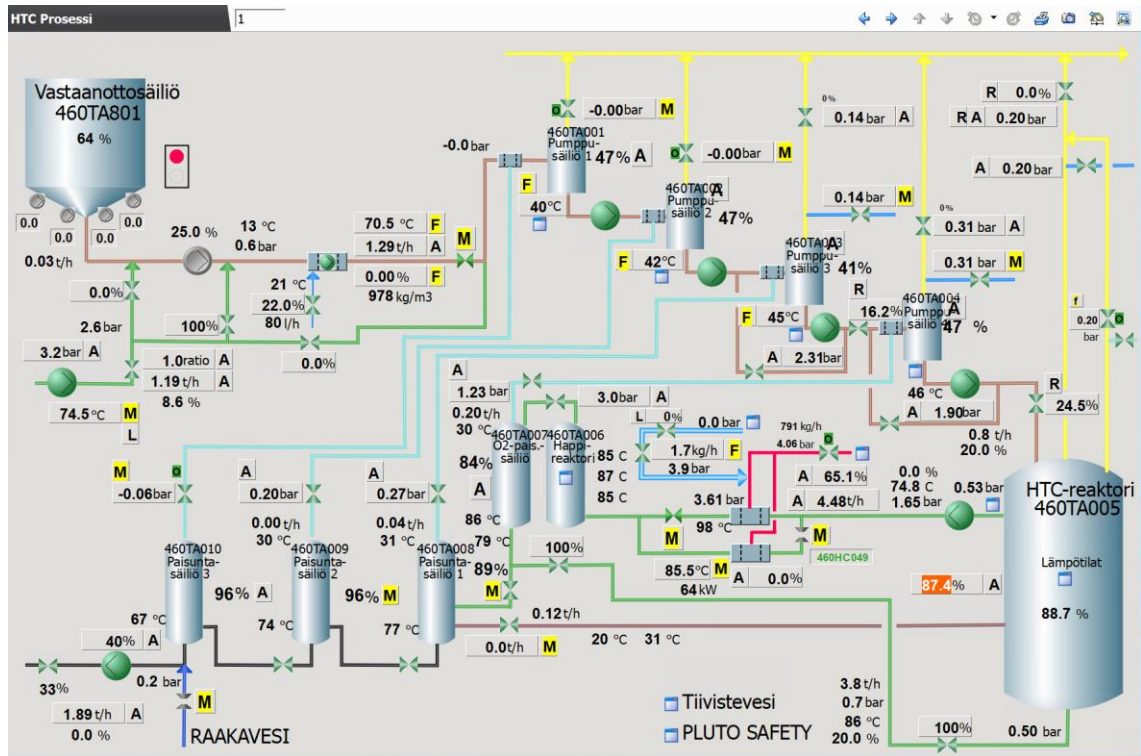
vuoden 2021 neljännestä kvartaalista alkaen. Tuotanto on ollut vaihtelevaa ja laiterikkoja sekä suunnittelemattomia seisakkeja on esiintynyt paljon.

Erilaisille ajomalleille on suoritettu myös lukuisia koeajoja. Käyttöasteeseen vaikuttavat paljolti tuotantonopeus. Suuremmalla tuotannolla prosessin hallinnassa esiintyi huomattavasti enemmän vaikeuksia.

5 Laitoksen operointi- sekä kunnossapitovastuun siirtäminen Stora Ensolle

5.1 Lähtötilanne

Kuten aiemmin todettu, laitoksen omistaa laitostoimittaja ja operointivastuu kuului myös toimittajalle Stora Enson toimiessa laitoksen testiolosuhteiden mahdollistajana sekä myöhemmin myös testaajana. Koetoimintasopimuksen päättyessä kiinteistöt sekä laitteistot oli määrä siirtää Stora Enson omistukseen 30.6.2022. Sopimukseen ei kuitenkaan tuolloin päästy laitoksen huonon käytettävyyden ja teknisten ongelmien vuoksi, joten toimittaja jatkoi optimointia ja operointia. Seuraava suunniteltu ajankohta on 1.10.2022 jolloin valvomo-operoinnin on määrä siirtyä Stora Ensolle. Toimittaja tulee jatkamaan vielä laitoksen kehitystä sekä toimii tukena vastaisuudessakin laitoksen kehittämisessä sekä ongelmanratkaisussa. Tavoite on saavuttaa riittävä osaaminen, jotta Stora Enson operaattoreilla on valmius laitoksen turvalliseen ja tehokkaaseen operointiin. Insinööriyön aiheen oli määrä koskea pääasiassa operointivastuun siirtämistä ja sen käytännön järjestelyjä. Monen tekijän summana toimintaa eikä omaisuutta ole siirretty tähän mennessä vielä Stora Ensolle. Toimittajan operaattorit toimivat myös koronaviruspandemian vuoksi erillään Stora Enson henkilöstöstä suuren osan käyntiajasta, joten ”itsestään rullaavalle” perehdytykselle aiheutui lisähaasteita. Laitostoimittajan operoiva henkilöstö siirtyi samaan valvomoon Stora Enson operaattoreiden kanssa vasta huhtikuussa 2022. Kokonaisuudessaan korona toimien mukaiset tehdasalueen sisäiset liikkumisrajoitukset purettiin toukokuussa.



Kuva 6. HTC-laitoksen DCS ohjelmiston operointi päänäkymä

5.2 Stora Ensolla käytössä olevat työaikamallit

Heinolan Fluting tehdas käy ympäri vuorokauden, joten osa henkilöstöstä työskentelee keskeytymättömän kolmivuorotyön piirissä. Tuotannon työntekijät ovat pääsääntöisesti TAM37 työaikamuodossa (kolmessa vuorossa, seitsemänä päivänä viikossa). Heinolassa on käytössä 12 tunnin lyhyt kierto, eli vuorokierto alkaa kahdella aamuvuorolla (klo 07–19) joiden jälkeen on välivapaa. Sitä seuraa kaksi yövuoroa (klo 19–07) joiden jälkeen on 5 vapaapäivää. Tämän jälkeen kierto alkaa alusta. Tehtaalla toimii myös päiväkäynninvarmistajia, jotka ovat tuotannossa mutta tekevät työtä TAM15 työaikamuodon piirissä, eli normaali päivätyö. HTC laitoksen operaattorit tulevat siis työskentelemään TAM 37 piirissä. Kunnossapito, sekä mekaaninen-, kuin myös sähkö- ja automaatiokunnossapito toimii pääsääntöisesti TAM15. Tehtaalla on myös TAM37:n piirissä olevat vuorokunnossapitäjiä, jotka toimivat koko tehdasintegraatissa. Toimihenkilöt toimivat kaikki päivävuorossa TAM15 piirissä lukuun ottamatta vuoromestareita, jotka työskentelevät vuorojensa mukana TAM37:ssä.

5.3 Tuotannon operaattorien perehdytysten käynnistäminen

Perehdytys ja harjoittelujakso saatiin kunnolla käyntiin vasta toukokuun 2021 alussa. Se osoittautui ennakoitua haasteellisemmaksi puutteellisten henkilöstöresurssien vuoksi. Lipeälaitoksella on kaksi tai kolme operaattoria töissä per vuoro. Kesälomakauden aikana lipeälaitos pyöri lähinnä kahdella operaattorilla, joten HTC-laitoksen oppiin oli erittäin haasteellista irrottaa operaattoria perehdytykseen. Lipeälaitoksen jouheva operointi vaatii kaksi operaattoria, joten HTC oppiin osallistuttiin kesäkuukausina vain osittain tai ei lainkaan. HTC-laitoksen tällä hetkellä epävakaan prosessin vuoksi laitos vaatii myös tarkempaa perehtymistä ja keskittymistä. Tuotannon ylläpitäminen vaatii aktiivista operointia suuren osan ajasta. Tämän seurauksena perehdytys on ollut kankeaa, etenkin mikäli se on pitänyt suorittaa muun työn ohessa. Oppia on pyritty viemään ajoittain eteenpäin myös ylitoiden voimin, jotta lipeälaitokselle saataisi riittävä miehitys. Ylityöhalukkuuksia ei kuitenkaan työntekijöiden osalta ole ollut riittävästi, joten kestäväenä ratkaisuna sitäkään ei voitu pitää. Lomakauden jälkeen oli määrä käynnistää tehokkaasti perehdytykset kaikkien operaattoreiden osalta. Kesä–elokuun aikana oppia pyrittiin edistämään miehitystilanteen mukaan niin tehokkaasti, kuin henkilöstöresurssit sallivat.

5.4 Operaattoreiden perehdytys

Operaattoreiden perehdytys aloitettiin luomalla heille selkeä perehdytysohjelma sekä työnopastusohjeet, joiden mukaan perehdytys on suunniteltu toteutettavaksi. Ohjelmaan sisällytetään käytännön harjoituksia sekä prosessioppia laitoksen toimintaperiaatteen ymmärtämiseksi kokonaisvaltaisesti. Oppimisprosessia keventävänä tekijänä toimi se, että lähes kaikki Stora Enson operaattorit olivat kokeneita prosessinhoitajia, joten uuden laitoksen käyttöönotossa ei ole suuria ongelmia operoinnin ja järjestelmien kannalta.

Stora Enson operaattorit osallistuivat toimittajan järjestämään koulutuspäivään syksyllä 2021. Agendana oli esitellä laitos ja sen toiminta sekä käydä toimintaperiaatteet ja prosessit kattavasti läpi. Tämän jälkeen kenttätyö ja oppien sisäistäminen sujui helpommin. Operaattorit aloittivat työhön perehtymisen

osallistumalla laitostoimittajan operaattorin vuoroon kukin vuorollaan. Laitoksen prosessia sekä ajamista alettiin harjoitella suoraan käytännönläheisesti osallistumalla itse prosessin ajotilanteisiin ja säätötoimenpiteisiin. Työnopastusohjeita ei toistaiseksi ole. Toimivan opastusohjeen luominen vaatii riittävää kokemusta ja ymmärrystä prosesseista sekä laitoksella tehtävistä työtehtävistä sekä niiden suoritustaajuudesta. Tässä vaiheessa pilottiprojektia tällaista kokemusta ei ole kenelläkään, joten ohjeen luonti jatkuu uuden tiedon karttumisen mukana.

Yksi tuotannon vuorotyöntekijä aloitti työskentelyn päivävuorossa projektitukena. Hänen tehtäviinsä kuului auttaa toimittajan tuotannon työntekijöitä käytännön asioissa liittyen perehdytyksiin ja oppien järjestelyyn. Myös laitoksen saattaminen Stora Enson standardien mukaiseksi esimerkiksi turvallisuus asioiden osalta kuului hänen tehtäviinsä. Tarkoitus oli myös se, että hän opettelee kunnolla HTC-laitoksen operoinnin ja saavuttaa korkean prosessiosaamisen tason. Täten toimittajan siirryttyä sivuun, hän pystyy edelleen jalkauttamaan opittua tietoa ja osaamista muille Stora Enson operaattoreille. Tällöin perehdytykset jatkuvat tehokkaasti. TAM 15 työaikamuoto mahdollistaa myös sen, että hän on vuorovaikutuksessa kaikkien vuorojen kanssa, joten jokaiseen vuoroon saadaan aamuvuoron aikana tasaisesti perehdytystä. Stora Enson käytäntöihin kuuluu myös se, että jokaisella vakanssilla on omat työnopastusohjeet. Aloimme luoda TAM 15:sta siirtyneen operaattorin kanssa työnopastusohjeita, jotka myöhemmin tullaan lisäämään lipeälaitoksen, sekä jätevesilaitoksen operaattorin työnopastusohjeeseen.

Kun Stora Enson operaattorit saavuttavat riittävän osaamistason prosessin hallitsemiseksi, operointi siirtyy Stora Ensolle siten että toimittajan operaattorit toimivat tukevana elimenä. Tätä kirjoittaessa pyrimme päivämäärään 1.10.2022. Toimittajan operaattorit siirtyvät TAM 17 työaikamuotoon eli he työskentelevät vain päivisin seitsemänä päivänä viikossa. Heidän työnkuvansa muuttuu myös siten että he toimivat enemmän kunnossapidollisissa sekä toimihenkilötehtävissä. Operoinnista vapautunut aika on mahdollista käyttää laitoksen ja prosessien kehittämiseen ja trouble-shooting:iin sekä, hallinnollisiin tehtäviin. Uskon tämän olevan myös eduksi, sillä toimittajan edustajat eivät vieraille Suomessa laitoksella säännöllisesti.

5.5 Toimintaohjeet ja kunnossapitovastuun siirto.

Stora Enson mekaanista- sekä sähkö- ja automaatiokunnossapitoa hallitaan SAP toiminnanohjausjärjestelmän kautta. Tämä työ aloitettiin muiden Stora Enson insinöörien kanssa luomalla SAP:iin toimintopaikat ja positiotunnukset HTC-laitokselle. Myös kaikki HTC-laitoksen asiakirjat ja dokumentit oli vietävä SAP:iin.

Koko laitoksesta syntyy laitehierarkia niin että eri prosessinosat ja niihin kuuluvat komponentit ovat hierarkiajärjestyksessä omilla toimintopaikoillaan. [Kuva 7] Kaikista töistä tehdään Stora Enson sisäiseen järjestelmään ilmoitus, joka on kohdistettu tietylle toimintopaikalle. Jokaisen laitteen ja komponentin alta löytyy kaikki tarvittavat tiedot ja dokumentit siihen liittyen. Koska työt ja vikaantumiset on kohdistettu omille toimintopaikoille, työn ja kustannusten seuranta on helppoa. Myös huoltosuunnitelmat ja ennakkohuollot on mahdollista generoida automaattisesti.

FI-HE-901-901	JÄTEVESIEN KÄSITTELY
FI-HE-901-901-420-120	KEMIKAALIEN KÄSITTELY
FI-HE-901-901-430-460	(46) HTC-LAITOS
FI-HE-901-901-430-460-100	KÄSIVENTTIILIT
FI-HE-901-901-430-460-110	LIETTEEN VALMISTELU
HE-46NY01	LIETTEEN VASTAANOTOSÄILIÖ (460TA800)
HE-46PD01	LIETTEEN SYÖTTÖPUMPPU (460PU801)
HE_422-014	RUUVIPUMPPU
HE_470-106	VAIHDEMOOTTORI
HE-46NY02	MASERAATTORIN PYSTYPUTKI (460TA801)
HE-46NK01	MASERAATTORI (460MA801)
HE-46PV01	LATTIAKANAALIN PUMP. MOD. 1 (460PU018)
FI-HE-901-901-430-460-120	LÄMMÖN TALTEENOTTO

Kuva 7. Esimerkkikuva laitehierarkiasta SAP:ssa

Tämä oli oleellinen osa laitoksen kehityksen- sekä kunnonseurantaa, sillä dataa alkoi kertyä tehdyistä töistä sekä vikaantumisista. C-Greenillä ei ollut vastaavaanlaista järjestelmää, joten tieto vikaantumisista ja muusta oli lähinnä operaattoreilla ja C-Greenin keskijohdolla. Pienellä yrityksellä ja laitoksilla sekin lienee toimiva ratkaisu, mutta HTC-laitoksen vieminen SAP:iin oli tärkeää Stora Enson operoinnin kannalta, sillä suurten kokonaisuuksien hallitseminen on hankalaa ilman toiminnanohjausjärjestelmää. Pidemmällä aikavälillä pystymme seuraamaan, kuinka usein eri kohteet vaativat jonkinlaisia kunnossapitotoimia ja sitä

kuinka paljon niistä aiheutuu kustannuksia. Vikaherkkiin kohteisiin on myös helpompaa puuttua ja kustannuksia ja niiden kehitystä on helpompi seurata.

Jonkinlaiset käyttöohjeet oli olemassa ennestään, sillä toimittaja oli sellaiset luonut omille operaattoreilleen. Stora Enson vaatimusten mukaisesti oli kuitenkin luotava omat toimintaohjeet sekä työnopastusohjeet, jotka vastaavat Stora Enson standardeja. Työtä tehti yhtiöiden väliset erot standardeissa ja käytännöissä. Esimerkiksi laiteiden positiotunnukset noudattivat erilaisia käytäntöjä, joten SAP:in datamassasiirron yhteydessä kaikki laitteet oli nimettävä Stora Enson käytännön mukaisesti.

Kunnossapitovastuun osalta haasteita aiheutti erilaiset standardit yhtiöiden välillä. C-Greenin toimiessa laitoksen pääoperoijana tuotannon työntekijät toimivat myös käyttäjäkunnossapitäjinä, joten mekaaniset huoltotyöt tehtiin oman henkilöstön voimin. Stora Enson ottaessa vastuuta on kokonaisuuteen osallistuttava useampia sidosryhmiä, tuotanto, mekaaninen kunnossapito sekä sähkö-, ja automaatiokunnossapito. Tämä vaatii myös kummankin kunnossapito-osaston jonkinlaista perehdyttämistä HTC-laitokseen. Komponenttien osalta laitoksessa ei ole suurempia eroavaisuuksia muuhun tehtaaseen, mutta laitoksen erilaiset riskit on osattava arvioida ja huomioida. Näitä voivat olla esimerkiksi biologiset riskit, jotka ovat aina läsnä jätevesilietteitä käsiteltäessä. Kemikaaleja laitoksella ei käytetä, joten kemikaaliriskejä ei ole. Prosessissa on kuitenkin korkeapaineisia ja kuumia prosessiosuuksia, joten niistä on oltava tietoinen.

Keskeisimmät poikkeavuudet osapuolten välillä:

- turvallisuustekijät huoltotöiden yhteydessä (erotusohjeet, lukituslistat)
- toiminnanohjausjärjestelmä (SAP)

5.6 Toiminta ja vastuut erilaisissa miehitystilanteissa

Lähtökohtaisesti tavoite on se, että projektin päätyttyä Stora Enso vastaa kokonaisuudessaan HTC-laitoksen käytöstä ja kunnossapidosta. Stora Enson operaattorien sekä käynninvarmistajien vastuulla on hallita prosessin hoito normaaleissa ajotilanteissa sekä häiriötilanteissa. Kunnossapito-osasto vastaa kunnossapidosta sekä ennakkohuolloista.

Optimoinnin ja perehdytysten aikana kunnossapito on kuulunut pääsääntöisesti toimittajalle ja sen käyttämälle ulkoiselle kunnossapitourakoitsijalle, Caverion Oy:lle. Kiireellisissä tilanteissa Stora Enson käyttäjäkunnossapito on osallistunut aputöihin HTC-laitoksella.

Vielä tätä kirjoitettaessa toimittajalla on täysi operointivastuu ja Stora Enso osallistuu operointiin. Nykyisten sopimusten puitteissa Stora Enso ei ole vastuussa operatiivisesta toiminnasta. Kuitenkin esimerkiksi turvallisuussääntöjen noudattaminen HTC-laitoksella on viime kädessä Stora Enson vastuulla, sillä pilottilaitos on Stora Enson tehdasalueella, jolloin se vastaa kaikesta tehdasalueella tapahtuvasta. Seuraavassa vaiheessa toimittajan operaattorien siirtyessä TAM-17 työaikamuotoon, jonka arvioitu ajankohta on lokakuun ensimmäinen päivä, prosessin ajaminen on Stora Enson vastuulla, ja toimittajan operaattorit siirtyvät tukevaksi elimeksi. Kunnossapitovastuu pysyy kuitenkin vielä toimittajalla kuten ennenkin. Tämä johtuu laitoksen suuresta vikaherkkyydestä.

Kunnossapito siirretään Stora Enson kunnossapito-osastolle vasta kun riittävä käyntiaika per kuukausi on saavutettu ja kunnossapidon mittareilla tarkasteltuna toiminta on riittävän vakaata.

5.7 Laitoksen kannattavuus

Pilottivaiheessa laitoksen suurimmat hyödyt syntyvät päästökaupasta. Kannattavuuteen vaikuttanee paljon tällä hetkellä myös sähkön hinta. Mikäli markkinahinta nousee merkittävän korkeaksi, kannattavuus laskee, tai se voi tehdä jopa tuotannosta kannattamattoman.

Märkähapetus ja sen eksotermisen reaktion on myös avainasemassa sähkönkulutuksen hallitsemiseksi. Teoriassa prosessin on määrä toimia ilman ulkoista lämpöenergian tuontia prosessiin. Tämä vaatii kuitenkin optimaalisesti toimivan happiajon.

Prosessin on toimittava myös niin stabiilisti, että se ei vaadi omaa operaattoria ajamaan prosessia. Pitkällä tähtäimellä tarkasteltuna ylimääräisen henkilön palkkaaminen syö kannattavuutta niin paljon, että nykyisellä tuottosuhteella tuotannon ylläpitäminen ei ole kannattavaa.

6 Projektin yhteenveto

6.1 Pohdintaa

Käyttöönottovaihe projektissa on ollut pitkä ja se ei ole sujunut täysin haasteitta. Alun perin myös tämä insinööri työ oli tarkoitus tehdä HTC-laitoksen koko käyttöönottoprosessista, sisältäen operointivastuun sekä omaisuuden siirron. Maailmalla vallitsevien konfliktien johdosta projektin loppuun saattaminen on kuitenkin viivästynyt useita kertoja, ja se on alkuperäisestä aikataulusta jo lähes 3 vuotta jäljessä. Tämän vuoksi tästä työstä on jätetty pois projektin loppuun saattaminen ja keskityn enemmän pilottilaitoksen ja koetoiminnan aikaisen kehitystyön ja operoinnin seurantaan. Aloitin työskentelyn HTC-laitoksen parissa helmikuussa 2022 ja silloisen aikataulun mukaan määrä oli saada operointivastuu siirrettyä Stora Ensolle jo ennen kesälomakauden alkua. Erilaisista tuotannollisista, sekä henkilöstöresursseihin liittyvistä syistä sitä on viivästetty ensin elokuun ja nyt lokakuun loppuun 2022. Komponenttien toimitusvaikeudet ja pitkät toimitusajat ovat olleet myös hidasteena laitoksen kehitystyölle ja projektin läpiviemiselle. Alkuperäisen suunnitelman mukaan laitoksen piti olla luovutuskunnossa jo vuoden 2019 loppupuolella. Korona pandemian vuoksi lähes kaikki toimet viivästyivät paljon. Rakennustyöt ja käyttöönotto tapahtuivat paljon ennen omaa aloittamistani projektin parissa, joten rakennusvaiheen ja käyttöönoton tarkemmat tapahtumat ja haasteet eivät ole yksityiskohtaisesti minulla tiedossa. Viivästyksiä on kuitenkin tullut useita myös vuoden 2022 aikana. Ukrainan

sodan aiheuttama materiaali- ja raaka-ainepula on heijastunut komponenttien pitkinä toimitusaikoina.

Henkilöstöressurit ovat aiheuttaneet myös rutkasti ongelmia ja jouheva perehdytysrutiini ei ole toiminut.

Yhtenä ongelmana oli myös pilottilaitoksen valtava opeorintien ja aktiivisen tarkkailun määrä. Optimitalanteessa HTC laitoksen pitäisi toimia lähes omavaraisesti ja sitä ei tarvitse mainittavasti operoida. Olemme saavuttaneet jo vakaissa ajotilanteissa tuloksia, jossa laitos vaatii alle 20 operointia 12 tunnin vuoron aikana. Kuitenkin ylös- ja alasajotilanteissa tai prosessin ollessa epävakaana operointien lukumäärä on 250–300 operointia työvuoron aikana.

Esimerkiksi lipeälaitoksella, sisältäen jätevesilaitoksen, haihduttamon sekä recoveryn, vastaavanlaisessa tilanteessa, jossa haihduttamo sekä recovery on ajettu molemmat alas sekä ylös, operointeja oli keskimäärin vain noin 210 operointia per työvuoro. Tässä on myös syytä huomioida, että kaikki edellä mainitut ovat omia prosessiyksiköitään ja HTC laitos vastaa yhtä niistä, eli karkeana esimerkkinä vaikkapa haihduttamo vaatii työvuoron aikana vain noin 70 operointia HTC:n vaatiessa 250–300. Lipeälaitoksella työskentelee 2–3 operaattoria jokaisessa työvuorossa ja he ovat hoitaneet kaikkia prosesseja. Täten on varsin selvää, että HTC-laitoksen vaatiessa yksinään yli 30 % enemmän operointeja kuin koko lipeälaitos yhteensä, Stora Enson henkilöstöressurssien riittäminen HTC-laitoksen oppiin on hyvin haasteellista. Operointien määrä itsessään ei vielä kerro koko totuutta, sillä monet häiriötilanteet vaativat sen, että työntekijä lähtee käymään laitoksella suorittamassa vaadittavia työtehtäviä, esimerkiksi avaamassa tai sulkemassa venttiileitä, tekemässä manuaalisia pesuja tai avaamassa mekaanisesti tukoksia. Tämän vuoksi HTC toimintavarmuutta ja prosessia pitäisi saada stabiloitua merkittävästi, jotta sitä pystyisi ajamaan riittävällä varmuudella lipeälaitoksen ohella lisäämättä miehitystä vuorossa.

Toisaalta taas pelkkä operointien määräkään ei ole vedenpitävä mittari, sillä on vaikea arvioida, ovatko kaikki suoritettut operoinnit tarpeellisia. Eri operaattoreilla on myös erilaisia operointitapoja tai ajomalleja. Jotkut hienosäätävät

jatkuvasti prosessia, jolloin tulee reilusti operointeja, toiset taas operoivat vain silloin kun on pakko.

Prosessin kehittämisen osalta komponenttipula ja toimitusajat heijastuvat välittömästi aikatauluihin projektin läpiviennin suhteen. Vakaan prosessin saavuttaminen on myös osoittautunut ennakoitua haasteellisemmaksi. Vakaa prosessi on tällä hetkellä kehitystyön pääpiste ja siihen pyritään saamaan parannusta. Laitos on myös suhteellisen pieni teollisuusmittakaavassa tarkasteltuna. Tämän seurauksena pienet putkistojen ja säiliöiden tilavuudet sekä hitaat virtausnopeudet aiheuttavat ongelmia esimerkiksi pinnanmittausten ohjaamille prosessisäädöille. Muutokset tapahtuvat pienien tilavuuksien takia hyvin nopeasti ja ilman toimivaa säätöautomaatiota voi prosessin hallinta olla haasteellista.

Laitoksen taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttanee yleisesti myös O₂ vaiheen toiminta. Ilman eksotermistä märkähapetusprosessia prosessiin pitää tuoda ulkoista lämpöä sähkökattilan avulla ja kattilan sähkönkulutus on suhteelliseen suuri saavutettuun hyötyyn nähden. Tässä maailmanmarkkinatilanteessa sähkön hinta on myös hyvin epävakaa, joten se voi aiheuttaa suuriakin heilahdeluja laitoksen taloudelliseen taseeseen.

6.2 Tulevaisuuden näkymät

Laitoksen kehitystyötä jatketaan ja käytettävyyttä pyritään saamaan vakautettua. Tämän eteen työskentelyä jatketaan vielä tämän työn tarkasteleman aikajakson ulkopuolella ja se on tarkoitus saada luovutuskuntoon vuoden loppuun mennessä. Allekirjoittanut jatkaa projektin parissa työskentelyä Stora Enson palveluksessa tämän insinöörityön jälkeenkin. HTC-laitoksen on määrä jäädä Heinolan Flutingille toimintaan osaksi tehtaan jätevesien käsittelyä. Tänäpäivän sellutehtaassa tavoitteena on, että hukkaa eikä jätettä syntyisi lainkaan. Tänä päivänä enää viherlipeän selkeytyksessä erottuva soodasakka sekä bioliete ovat jakeita, joille ei ole vielä kehitetty tehokasta tapaa hyödyntää. Tämä teknologia on ratkaissut ongelman myös biolietteen osalta.

Konseptina teknologia on osoittautunut toimivaksi ja pitkäjänteisen prosessikehityksen seurauksena oletamme pääsevän vakaaseen ja toimintavarmaan käyntiin. Laitoksesta kerätään dataa jatkuvasti ja siitä saatujen oppien sekä johtopäätösten ansiosta käyntivarmuus nousee jatkuvasti. Kunnossapito sekä prosessipesut onnistutaan myös ajoittamaan paremmin, kun prosessin osienliikuttumisen ja vikaantumisten taajuus tiedetään. Tämän seurauksena ennakoiva kunnossapito on mahdollista suorittaa paremmin ja tehokkaammin. Toimittaja on myös palkannut lisää insinöörejä vuoden 2022 syksyille, jotta ongelmanratkaisua saadaan tehostettua. Pyrimme hyödyntämään tehokkaammin kokoneiden operaattorein näkemyksiä ja mielipiteitä prosessikehityksessä, sekä kehittämään toimintaa kokonaisuutena.

Lähteet

- 1 <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/heinola-fluting-mil>
- 2 HF-PRO 07 Massan valmistus prosessikuvaus. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
- 3 Mikael Sillfors. 2022. Kehityspäällikkö, Stora Enso Oy, Heinola. Keskustelut 3/2022–9/2022
- 4 Timo Riuttanen. 2022 Käyttöpäällikkö, energia. Stora Enso Oy, Heinola. 2/2022–9/2022
- 5 HF-PRO 08 SC-Fluting -valmistus prosessikuvaus. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj. /2022
- 6 Petri Kuuluvainen. 2022. Jätevesilaitoksen hoitaja. Stora Enso Oyj. Keskustelut 4/2022–9/2022
- 7 Dan Holmsten. 2022. Comissioning Manager, C-Green Technology AB. Heinola. Keskustelut. 4/2022
- 8 Eldrimner Operating Manual_20210114. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. C-Green Technology AB
- 9 Jonas Heikkinen. 2022. Comissioning Manager. C-Green, Heinola. Keskustelut. 4/2022
- 10 Process Definition_R2. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Stora Enso Oy
- 11 SE HFL_HTC-laitoksen vuosiraportti 2020. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj
- 12 Yhdyskuntalietekoeajon riskinarvio kokouspöytäkirja. Yrityksen sisäinen dokumentti. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj
- 13 Ympäristölupapäätös. Aluehallintavirasto. Päätös 79/2021. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigk5S-lZb6AhXLxIsKHai-CAiUQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fylupa.avi.fi%2Fapi%2Fv1%2Fdocuments%2Fat-tachment%2F9537315&usg=AOvVaw0OSW2_-LetX1W1WzPYQOrB> 17.2.2022