

Biotuotetehtaan vedenkäytön tehostaminen

Henri Roivainen

Opinnäytetyö
Tammikuu 2021
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä(t) Roivainen, Henri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Tammikuu 2021
	Sivumäärä 24	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Biotuotetehtaan vedenkäytön tehostaminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK) Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Kari		
Toimeksiantaja(t) Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehtas		
Tiivistelmä <p>Muun muassa YK:n Agenda 2030 -ympäristötavoitteiden myötä metsäteollisuudessa on alettu panostaa enenevässä määrin prosessien ympäristöystävällisyyteen ja energiatehokkuuteen. Vaikka perinteisesti vesi-intensiivisenä prosessina tunnettu sellunvalmistus on kehittänyt jo pitkän aikaa oikeaan suuntaan, töitä on vielä tehtävä tavoitteiden saavuttamiseksi.</p> <p>Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaalla haluttiin rakentaa seurantatyökalu, jonka avulla on helpompi havaita vedenkäytöllisesti poikkeavat tilanteet. Lisäksi aiemmin oli todettu, että haihduttamalla syntyvää sekundäärilauhdetta voisi hyödyntää enemmän korvaamalla sillä muita jakeita prosessissa, kuten kuumaa vettä. Potentiaalisimmaksi kohteeksi valikoitui puunkäsittelyn sulatusvesijärjestelmä. Aiemmin käytössä ollut ratkaisu oli vesimäärältään alijäämäinen, jonka takia mekaanisesti puhdistetun veden käyttö oli liiallista. Tämä heikensi prosessin energiatehokkuutta ja lisäsi tehtaan jätevesimäärää.</p> <p>Työssä laskettiin sekundäärilauhteen ylimäärä ja kartoitettiin sen hyödyntämispotentiaalia massatehtaalla. Toimeksiantajalle suunniteltiin vedenkäyttöä osastokohtaisesti kuvaava sivu, joka myöhemmin liitetään tehtaan ohjausjärjestelmään. Lisäksi osallistuttiin sekundäärilauhteen käyttöönottoon puunkäsittelyssä, ja määritettiin siitä johtuvat muutokset vesijärjestelmän ohjauksiin.</p> <p>Työn tuloksena onnistuttiin vähentämään puunkäsittelyn mekaanisesti puhdistetun veden kulutusta, ja määrittämään seurannan arvoiset asiat vedenkäyttösiivuun. Työn pidempiaikaiset vaikutukset ilmenevät, kun puunkäsittelyn sulatusvesitilanne vakiintuu ja saadaan tietoa jäteveden ja energiantarpeen todennäköisestä vähenemisestä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) jätevesi, sellunvalmistus, sekundäärilauhde, vedenkäyttö		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Roivainen, Henri	Type of publication Bachelor's thesis	Date Tammikuu 2021 Language of publication: Finnish
	Number of pages 24	Permission for web publication: x
Title of publication Improving the water management of a bioproduct mill		
Degree programme Energy- and environmental engineering		
Supervisor(s) Hytönen Kari		
Assigned by Metsä Fibre Oy, Äänekoski bioproduct mill		
Abstract <p>Among other factors, the United Nations' Agenda 2030 Sustainable Development Goals have put pressure on forest industry to improve the energy efficiency and reduce environmental load of production processes. For pulp production, this essentially means reducing the total amount of wastewater from the process.</p> <p>Äänekoski bioproduct mill needed a tool to help manage the usage of water, and to discover potential for reducing the amount of wastewater. Beforehand, it was noted that a larger fraction of the secondary condensates produced at the evaporation plant could be used in place of clean hot water in the process. The debarking, or wood processing, plant seemed to have the best potential for doing so. The prior thawing water solution demanded the use of mechanically treated water which was not ideal in terms of either energy efficiency or water usage.</p> <p>The objective was to calculate the amount of available secondary condensate and to determine whether it was reasonable to use it in washing of the bleaching stages. For water management, a display page was designed to be added to the automation system of the mill. The page indicates certain factors regarding water usage on every subprocess such as pulping, drying etc. In order of using secondary condensates as thawing water, certain changes to the automation system needed to be made as part of the thesis.</p> <p>As result, the commissioning of the new thawing water system was successful. Because the water management display page is yet to be added to the automation system and the thawing water system still needs some fine tuning, the long-term effects of the thesis are to be seen in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) pulp, bioproduct mill, secondary condensate, water management		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	2
1.1	Lähtökohdat	2
1.2	Opinnäytetyön tavoite ja tutkimusmenetelmä.....	2
1.3	Metsä Fibre Oy Äänekosken biotuotetehdas.....	3
2	Sellutehtaan vedenkäytön periaatteet	4
2.1	Puunkäsittely	5
2.2	Kuitulinja.....	6
2.3	Talteenotto.....	8
3	Toteutus ja tulokset.....	10
3.1	Sekundäärilauhde.....	10
3.2	Puunkäsittely	13
3.3	Vesitasenäyttö.....	15
4	Pohdinta.....	19
4.1	Keskeiset tulokset.....	19
4.2	Kehityskohteet ja jatkotoimenpiteet	20
4.3	Aineisto ja opinnäytetyöprosessi	21
	Lähteet	23
	Kuviot	
	Kuvio 1. DD-pesurin toimintaperiaate.....	7
	Kuvio 2. Esimerkki haihduttamosta	9
	Kuvio 3. Havainnekuva pesupuristimen pesuvesistä.....	11
	Kuvio 4. Pysyvyysskäyrä VLS1-säiliön pinnanmittauksesta 15.2.-9.5.2020.	12
	Kuvio 5. Havainnekuva kuorimon kiertovesistä (vastaa linjoja 2 ja 3)	14
	Kuvio 6. Massatehtaan indikaattorit	16
	Kuvio 7. Kuorimon indikaattorit	17
	Kuvio 8. Haihduttamon indikaattorit.....	18
	Kuvio 9. Kuivauskoneiden indikaattorit.....	18
	Kuvio 10. Jäteveden indikaattorit.....	19

1 Johdanto

1.1 Lähtökohdat

Vaikka sellunvalmistus edelleen vaatii runsaasti vettä, nykyaikaisen tehtaan vaatima prosessivesimäärä on laskenut murto-osaan esimerkiksi 50 vuoden takaisesta määrästä. Vettä tarvitaan etenkin massaa ja energiaa kuljettavana aineena, mutta sitä käytetään myös esimerkiksi epäpuhtauksien pesemiseen (väli)tuotteista. (Knowpulp 2020.)

Vuonna 2015 hyväksyttiin YK:n Agenda 2030 -kestävän kehityksen tavoitteet, joita Suomessa toimeenpanee mm. Metsäteollisuus ry (Blomfelt 2019). Tavoitteisiin kuuluu vedenkäytön tehostaminen kaikilla sektoreilla (Kestävän kehityksen tavoitteet Agenda 2030, 86). Opinnäytetyö on mukana ohjaamassa Metsä Fibre Oy:n Äänekosken biotuotetehdasta kohti tätä tavoitetta. Aihe rajattiin vedenkäytön seuraamista helpottavan Valmet DNA -sivun sisällön suunnitteluun, sekundäärilauhteen ylikaadon hyödyntämisen tutkiskeluun, sekä kuorimon sulatusvesiratkaisujen pohdintaan. Opinnäytetyön osa-alueet ovat vahvasti yhteydessä toisiinsa ja tähtäävät kaikki tehtaan kokonaisjätevesimäärän vähentämiseen.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa tehtaan vedenkäytön seuranta, selvittää ratkaisuja sekundäärilauhteen hyödyntämiseksi puunkäsittelyn sulatusvetenä sekä laskea vedensäästöpotentiaali sekundäärilauhdesäiliöiden ylikaadon hyödyntämisestä. Sekundäärilauhteen hyödyntämisessä on kyse likaisempien jakeiden käyttämisestä esimerkiksi puhtaan kuumen veden sijaan. Sekundäärilauhteet päätyvät joka tapauksessa jätevedenpuhdistamolle, joten ylimääräistä lauhdetta käyttämällä tehdään jätevesimäärää saataisiin vähennettyä.

Koska työ on käytännönläheinen ja sillä pyritään kehittämään ja parantamaan tehtaassa olemassa olevia prosesseja, valikoitui tutkimusmenetelmäksi kehittämistutkimus. Kehittämistutkimuksessa valitaan aihe, rajataan sitä ja kehitetään ongelmalle ratkaisu. (Kananen 2012, 12–15.) Työn tutkimuskysymykset voisivat olla: miten tehtaassa vedenkulutuksen seuranta parannetaan, paljonko sekundäärilauhdetta voidaan hyödyntää ja miten sekundäärilauhdetta hyödynnetään puunkäsittelyssä? Kananen (2012, 17) mukaan nämä osittain avoimet tutkimuskysymykset myös viittaavat kehittämistutkimukseen, toisaalta tuloksena halutaan myös lukuja, joka on yksi määrällisen tutkimuksen ominaisuuksista. Kehittämistutkimukset sisältävätkin usein sekä laadullisia, että määrällisiä menetelmiä (Kananen 2012, 19). Tässä työssä määrällisiä menetelmiä käytetään etenkin sekundäärilauhdetta tutkiessa, kun työn muut osat tulevat sisältämään elementtejä myös laadullisesta tutkimuksesta.

Tutkimustyöhön perehtymiseen käytetään toimeksiantajan automaatiojärjestelmää ja kirjallisuutta sekä verkkolähteitä. Suuri osa työssä tutkittavista prosesseista ja lainalaisuuksista on tekijälle ennestään suhteellisen tuntematonta. Verkkolähteitä ja kirjallisuutta käytetään tarvittavan perustiedon ja teoriapohjan saavuttamiseksi, jonka jälkeen pääasiallista tutkimusta tehdään Valmet DNA:n parissa. Mahdollisia ratkaisu- vaihtoehtoja pohditaan automaatiojärjestelmästä saadun datan perusteella yhteistyössä operaattorien ja muun henkilöstön kanssa. Koska suoria näyttökuvia tehtaassa järjestelmästä tai laitteiden positioita ei haluttu julkaista, on laitteita ja prosesseja kuvattu havainnekuvilla. Kuviin on liitetty ainoastaan työn kannalta olennaisia tietoja, jotka vastaavat todellisuutta, mutta eivät ole sisällöltään täydellisiä.

1.3 Metsä Fibre Oy Äänekosken biotuotetehdas

Metsä Fibre on suomalaisen metsäteollisuus konsernin Metsä Groupin tytäryhtiö ja maailman suurin markkinahavusellun tuottaja. Yhtiön neljä sellutehdasta sijaitsevat Äänekoskella, Raumalla, Kemissä ja Joutsenossa. Tehtaiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on 3,3 miljoonaa tonnia valkaistua sellua vuodessa. Sellutehtaiden lisäksi Metsä Fibrellä on kuusi sahaa Suomessa ja Venäjällä. Vuonna 2019 yhtiön liikevaihto oli n. 2,2 miljardia euroa, josta voittoa 249 miljoonaa euroa. (Metsä Fibren vuosikatsaus 2019.)

Äänekoskella on pitkät perinteet selluteollisuudesta, ensimmäinen sulfiittisellutehdas aloitti toimintansa vuonna 1938. Tämän jälkeen tehdas on uusittu vuosina 1961 ja 1985. (Metsä Group 2015.) Vuonna 2014 Metsä Fibre Oy julkisti suunnitelmansa uuden biotuotetehtaan rakentamisesta Äänekoskelle (Metsä Fibren vuosikatsaus 2014). Laitos sai ympäristöluvan tammikuussa 2015. Lupa käsittää muun muassa enintään 10 m³/s vedenoton ja 30 000 kg:n ja 3000 kg:n vuorokausittaiset COD- ja kiintoainepäästöt vesistöön. (Aluehallintovirasto 2015, päätös 4/2015/1.) Laitos käynnistyi 15.8.2017, täysi tuotantokapasiteetti saavutettiin vuotta myöhemmin. Aluehallintoviraston (2015) ympäristölupahakemuksen mukainen 1,3 miljoonan tonnin vuosituotanto on lähestulkoon saavutettu; vuosina 2018 ja 2019 tehdas tuotti 1 150 000 tonnia sellua per vuosi (Metsä Fibre 2020).

Äänekosken tehdasta kutsutaan biotuotetehtaaksi, koska n. 20 % tehtaan liikevaihdosta muodostuu sivuvirroista valmistettavista biotuotteista kuten tärapästä, mäntyöljystä ja biokaasusta ja -pelleteistä. Tehtaalla kehitetään jatkuvasti myös uusia tuotteita, kuten sellupohjaisia tekstiilikuituja. Lisäksi sivuvirtoja palautetaan tehtaan omaan käyttöön. Prosesseissa syntyvistä väkevistä hajukaasuista valmistetaan rikkihappoa, jota hyödynnetään mäntyöljyn esipalstoituksessa sekä massan valkaisussa. (Metsä Fibre 2020.)

2 Sellutehtaan vedenkäytön periaatteet

Vielä 1970-luvulla sellutehtaan keskimääräinen vedenkulutus oli luokkaa 120 m³/il-makuivattu tonni eli ADt sellua. Esimerkiksi vuonna 2017 vastaava luku vaihteli välillä 20–40 m³/ADt (Knowpulp 2020). Tässä osiossa on tarkoitus selvittää, miten näihin lukuihin on päästy eli miten vettä käytetään nykyaikaisessa sulfaattiselluprosessissa.

2.1 Puunkäsittely

Jotta tehtaalla käytetyn puun kuoriminen olisi mahdollista myös pohjoisissa talviolosuhteissa, tulee sen kuori sulattaa. Koko puun sulattaminen ei kuitenkaan ole järkevää, koska vaaditun lämpöenergian ja veden määrä kasvaisi todella merkittävästi. Nykykäytännön mukaisesti myös Äänekoskella kuoren sulatus tapahtuu syöttökuljettimella ennen varsinaista kuorimarumpua. Tällä tavalla kuoren sulatusaika on pidempi ja vettä vaaditaan vähemmän. Pienempi sulatusveden määrä johtaa luonnollisesti myös pienempään jätevesimäärään. Sulatusveden lämmittäminen tapahtuu lähes täysin kuumalla vedellä, talviaikaan käytetään myös hieman matalapainehöyryä. Puun sulattamisen lisäksi vettä käytetään kuorimolla myös pesemiseen, jotta mahdollisimman suuri osa puun mukana tulevista kivistä, pölystä ym. epäpuhtauksista huuhtoutuisi pois ennen haketusta. (Knowpulp 2020.)

Vedenkäytön minimoimiseksi kuorimolla on kiertovesijärjestelmä, jota käyttämällä sulatus ja suurin osa pesuista tapahtuu. Jotta kiertovesi ei väkevöityisi liikaa, osa vedestä poistuu jätevedenpuhdistamolle ja vastaavasti tuoretta vettä otetaan tilalle. Tuoretta vettä kiertoan tulee myös viimeisissä pesuissa ennen haketusta, joissa käytetään mekaanisesti puhdistettua vettä. Kiertovesialtaasta poistetaan sinne kertyneet kivet ja muut epäpuhtaudet sekä kuori, joka ohjataan kuoripuristimille. Kuoripuristimilla kuoresta poistetaan ylimääräinen vesi, joka sekin palaa kiertovedeksi. (Knowpulp 2020.)

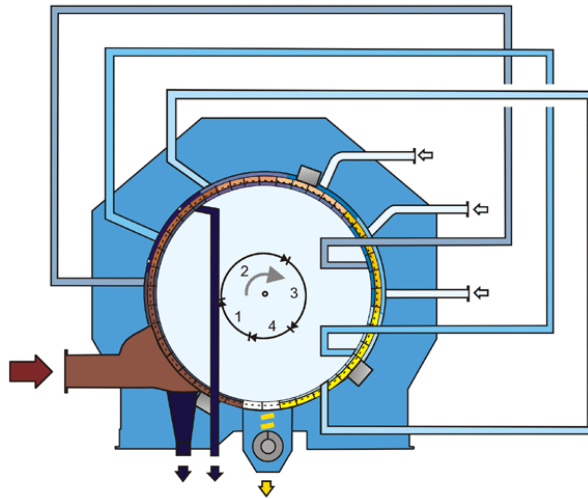
Energiataloudellisista syistä Äänekosken kuorimolla on kaksi kiertovesiallasta, lämmin allas sulatusta varten, ja kylmä, niin sanottu rännivesiallas puun pesemistä varten. Kuorimon vedenkulutus perustuu vesihäviöihin, joita tapahtuu sulatuksessa, pesuissa ja itse kuorinnassa. Biotuotetehtaan kuorimon vesihäviö on laskennallisesti 10 l/s jokaista sulatus- ja rännivesipumppua kohti, eli yhteensä 60 l/s. Nykyisillään tuoreveden määrä on siis mitoitettu kompensoimaan nämä häviöt. Tällä hetkellä Äänekosken kuorimon tuorevesi muodostuu kaustistamon viherlipesäjäjäähdyttimeltä saatavasta kuumasta vedestä ja VMP:stä. Kaustistamon kuuma vesi ohjataan joko kuorimolle tai jäähdytysvesien mukana vesistöön, joten sen käyttäminen puiden sulatuk-

sessä lisää kokonaisjätevesimäärää. Kyseisen kuumen veden määrä on myös riippuvainen viherlipeän jäähdytyksen tarpeesta, ja määrän onkin todettu olevan riittämätön. Toisin sanoen kuorimon kiertovettä joudutaan paikkaamaan VMP:llä, joka lisää sekä jätevesimäärää että energiankulutusta. Rännivesipuolella käytetään ainoastaan VMP:tä.

2.2 Kuitulinja

Massatehtaalla vettä käytetään pääasiassa pesuihin, lajitteluun ja massan ja kemikaalien siirtämistä helpottavana väliaineena. Valtaosa vedestä saadaan pesureiden pesuvetenä esimerkiksi kuivaamolta 0-veden ja haihduttamolta sekundäärilauhteen muodossa. Massatehtaalta vettä poistuu mustalipeän mukana haihduttamolle, jätevetenä valkaisusta ja massan mukana kuivauskoneille. Lisäksi massatehtaalla on useita jäähdytyskohteita, joilla tuotetaan kuumaa vettä myös muun tehtaan tarpeisiin. Näitä kohteita ovat pesulipeäjäähdytin, hajukaasujen lauhdutin ja jätevesien jäähdyttimet. Tyypillisesti kuumaa vettä tuotetaan 10–15 m³/ADt. (Knowpulp 2020.)

Fardim (2011) kuvaa keiton ja happivaiheen jälkeisten pesujen päätavoitteina olevan sekä orgaanisen ligniinin että epäorgaanisten kemikaalien talteenotto, kun taas valkaisun pesut keskittyvät siihen, että seuraavaan vaiheeseen ei kulkeudu sille haitallisia kemikaaleja. Oli sitten käytössä laimentamiseen ja sakeuttamiseen tai syrjäyttämiseen perustuvat pesurit, tavoitteena on käyttää mahdollisimman vähän vettä pyrkien samalla parhaaseen mahdolliseen pesutulokseen. Koska selluprosessi on pysynyt jo pitkään lähes muuttumattomana, sama tieto löytyy myös Biermannin (1996) kirjasta ja Knowpulpista (2020). Äänekoskella pesuihin käytetään pääasiassa niin kutsuttuja DD-pesureita (drum displacer). DD-pesureissa saostettu massa pestään tyypillisesti 1–4 vaiheessa pesurin rummun pinnalla. Jotta puhtaan veden käyttöä on voitu vähentää, pesurit toimivat vastavirtaperiaatteella. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäiseen pesuvaiheeseen johdetaan jo useamman pesuvaiheen läpikäynyt, likaisin vesi, ja vastaavasti viimeiseen vaiheeseen johdetaan puhtain vesi. Kuviossa 1 havainnekuva DD-pesurista. (Knowpulp 2020; Bajpai 2010, 19.)



Kuvio 1. DD-pesurin toimintaperiaate (Knowpulp 2020).

Vastavirtaperiaatetta hyödynnetään kuitulinjalla isommassakin mittakaavassa. Kuivauskoneella massasta poistettua vettä palautetaan valkaisuun viimeisen vaiheen pesurille. Samalla periaatteella tämä ”sama” vesi ajetaan massatehtaan vaiheita pitkin taaksepäin, eli tavallaan vastavirtaan itse kuitumassan kanssa. Kuten aiemmin mainittu, on otettava huomioon eri vaiheiden kemikaalien sekoittuminen, esimerkiksi alkalisen vaiheen jälkeistä pesua ei voida suorittaa pelkästään happamalla suodoksella. Tämän takia valkaisuun pesureilla käytetään myös kuumaa vettä tai haihduttamon sekundäärilauhdetta, erityisesti pesureiden ensimmäisissä pesuvaiheissa. Samasta syystä valkaisuun ensimmäisen vaiheen vahvasti hapanta suodosta ei voida hyötykäyttää keittämöllä tai happidelignifioinnissa, vaan se siirtyy jätevetenä puhdistamolle. Sen sijaan happivaiheen tarvitsema pesuvesi johdetaan valkaisuun esipesusta, eli Äänekosken tapauksessa pesupuristimelta. Happivaiheen ja keittämön pesut läpikäynyt, runsaasti keittokemikaaleja sisältävä suodos johdetaan takaisin keittimeen. (Biermann 1996; Fardim 2011.)

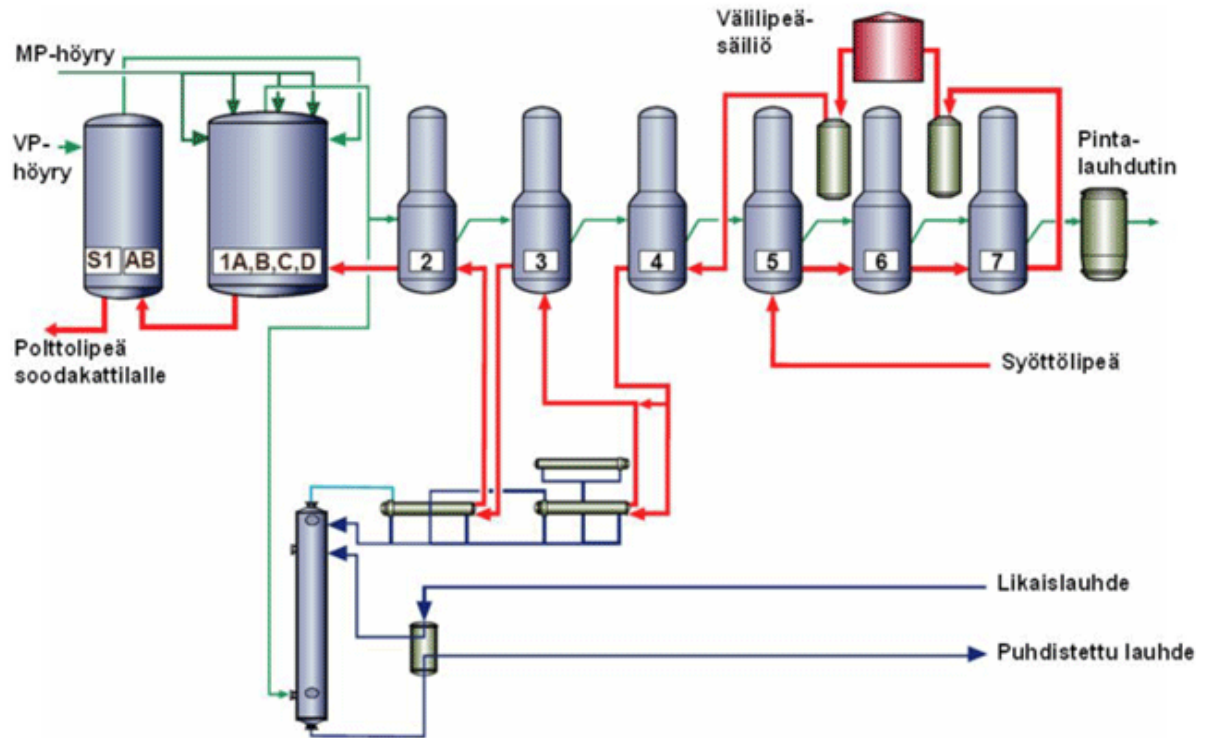
Koska valmis selluarkki on luonnollisesti sakeampaa kuin valkaisuusta kuivaamolle saava massa, kuivaamalla on vettä yli oman tarpeen. Koska ei ole toivottavaa, että kuivauskoneiden kiertovesitornit kaatavat yli jätevesiin, on valkaisuun pystyttävä hyö-

dyntämään käytettävissä oleva vesimäärä mahdollisimman hyvin. Tämän tasapainotilan saavuttaminen luo haasteita tuotantoon ja on yksi niistä asioista, joita opinnäytetyön avulla pyritään seuraamaan tarkemmin.

2.3 Talteenotto

Talteenotossa käytetään valtavia määriä jäähdytysvettä. Suurimmat jäähdytyskohteet ovat turbiinihöyryn ja haihduttamon toisiohöyryn lauhduttaminen. Koska jäähdytysvesiä ei varsinaisesti lasketa sellutehtaan vedenkulutukseen muuten kuin lämpökuormana, ja koska opinnäytetyö keskittyy jätevesiin, on oleellisempaa käsitellä varsinaiseen prosessiin päätyvää vettä eli talteenoton tapauksessa sekundäärilauhdetta.

Keittimestä poistuvan laihamustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 15–16 %. Jotta lipeän käyttäminen polttoaineena olisi järkevää, on siitä poistettava runsaasti vettä. Nykystandardeilla tavoiteltava kuiva-ainepitoisuus on noin 80–85 %. Vedenpoisto tapahtuu höyryllä kuumennettavissa haihdutinsyklooneissa. Korkean kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi haihdutusvaiheita on useita, tyypillisesti 5–7. Kuviossa 2 havainnoidusta mahdollisesta haihdutinkokoonpanosta voidaan huomata, että höyry ajetaan ensimmäisenä yksiköihin, joissa on vahvin eli korkeimman kuiva-ainepitoisuuden omaava lipeä. Parhaimman energiatehokkuuden saavuttamiseksi tämäkin prosessi noudattaa vastavirtaperiaatetta. Höyry etenee vaihe vaiheelta kuviossa näkyvien järjestysnumeroiden mukaan kohti matalimman paineen, lämpötilan ja kuiva-ainepitoisuuden omaavaa sykloonia. (Knowpulp 2020.)



Kuvio 2. Esimerkki haihuttamosta (Knowpulp 2020).

Lipeästä haihnutettu toisiohöyry lauhdutetaan pintalauhduttimessa ja kerätään sekundäärilauhdessaäiliöön. Sekundäärilauhdetta kerätään myös haihdutusvaiheiden välissä strippaamalla eli puhdistamalla likaislauhdetta. Mahdollisen likaisuuden vuoksi nämä lauhteet kerätään tyypillisesti erilliseen säiliöön. Sekundäärilauhteita käytetään tyypillisesti pesurien pesuvetenä ja kaustistamalla meesan pesussa. Koska sekundäärilauhteet sisältävät jonkin verran metanolia ja muita epäpuhtauksia, voivat ne esimerkiksi valkaisun loppupäässä käytettyinä aiheuttaa hajuhaittoja. (Knowpulp 2020; Tikka 2008)

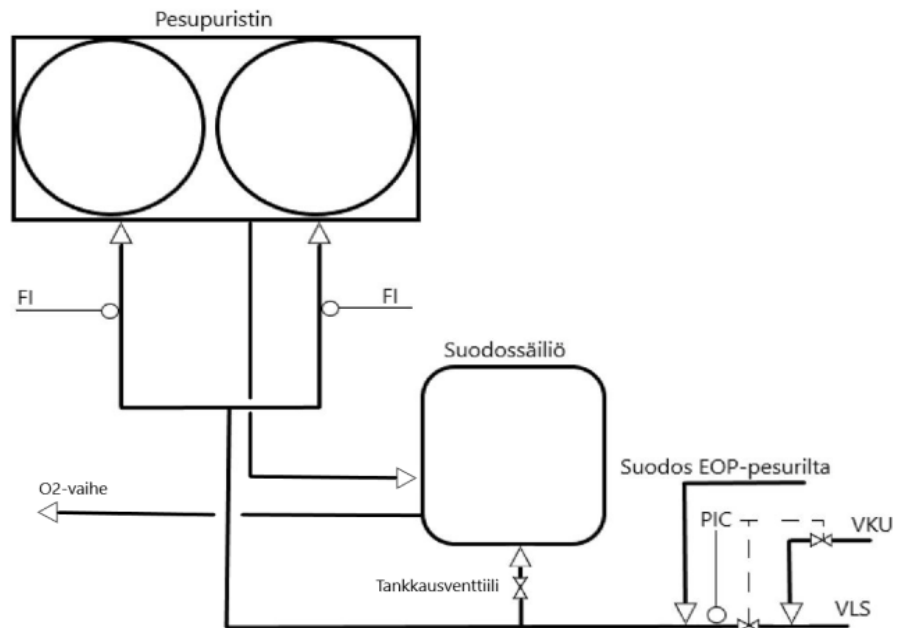
3 Toteutus ja tulokset

3.1 Sekundäärilauhde

Sekundäärilauhteen osalta tehtävänä oli kartoittaa kuinka paljon sekundäärilauhdesäiliöt oikeasti kaatavat yli, ja kuinka paljon lauhdetta voitaisiin vielä hyödyntää. Biotuotetehtaalla on kaksi sekundäärilauhdesäiliötä, joista puhtaampaa, säiliöön 1 ajettavaa lauhdetta käytetään tällä hetkellä pääasiassa valkaisuissa. On todettu, että lauhde ei aina riitä valkaisun tarpeisiin, jonka vuoksi työssä selvitetään, kuinka paljon vajausta on. Sekundäärilauhdesäiliö 2:n lauhdesta on toistaiseksi hyödynnetty vain pieni osa, lähinnä kaustistamalla. Vaikka säiliö 1 kaataa yli säiliöön 2, oli ylikaadon kokonaismäärän lisäksi tärkeää selvittää, miten määrä jakautuu säiliöiden kesken. Tämä siksi, että lauhdeilla on eri käyttötarkoitukset.

Massatehtaan potentiaalia lähdettiin kartoittamaan selvittämällä valkaisun pesureiden kuuman veden kulutusta. Pesupuristimen ja EOP-pesurin pesuvesinä käytetään ensisijaisesti sekundäärilauhdetta, mutta kun lauhdelinjan paine ei riitä asetusarvoon, VKU-venttiilit paikkaavat painetta ja samalla virtausta kuumalla vedellä. VLS1-säiliön pinnansäädöstä johtuen valkaisuun menevien lauhdelinjojen paine tippuu alle asetusarvon, kun säiliön pinta laskee noin 40 prosenttiin.

Suurin valkaisun sekundäärilauhteen kulutusta vääristävä tekijä on pesupuristimen suodossäiliön tankkaaminen. Koska VKU- ja VLS-linjoissa sekä tankkauslinjassa ei ole omia virtausmittauksia, on vaikea määrittää kuinka paljon pesuvettä ”karkaa” suoraan suodossäiliöön. Tätä tapahtuu, kun suodossäiliön pinta laskee, eli suodos ei tahdo riittää happidelignifioinnin tarpeisiin. Tankkausta voi tapahtua, jos pesupuristimeen ajetaan liian vähän pesuvettä, mutta enimmäkseen sitä tapahtuu, kun pesupuristin syystä tai toisesta on ohituksella. Tästä syystä tutkittavaksi ajankohdaksi tuli valikoida aikaväli, jolloin pesupuristimen ohitusta ja sitä kautta suodossäiliön tankkausta tapahtui mahdollisimman vähän. Tutkittavaksi aikaväliksi valittiin 15.02.-09.05.2020.



Kuvio 3. Havainnekuva pesupuristimen pesuvesistä

Koska VKU:n kulutusta ei suoraan nähdä virtausmittauksista, piti määrät päätellä lauhdesäiliön tasetta hyödyntämällä. Yksinkertaistettuna käytettiin siis seuraavanlaista kaavaa:

$$(Pesuvesi pesupuristimelle - EOP-suodos pesupuristimelle + VLS / VKU EOP + 10 \text{ l/s}) - VLS \text{ säiliöön } 1 = VKU \text{ kulutus} \quad (1)$$

jossa

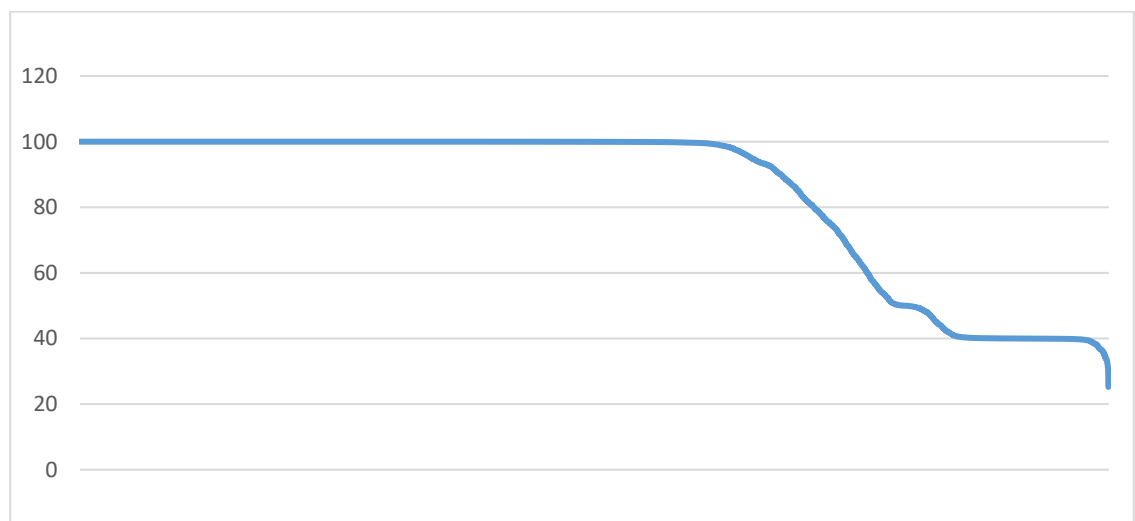
VLS/VKU EOP=Pesuvesivirtaus EOP-pesurille (l/s)

10 l/s=Vakio, joka kompensoi pienemmät, ilman mittauksia olevat VLS1 käyttökohteet

VLS säiliöön 1=Yhteenlaskettu virtaus haihduttamon paisunta-astiasta ja likaislauhteen esilämmittimeltä VLS1-säiliöön (l/s)

VKU kulutus=Kuuman veden osuus pesupuristimen ja EOP-pesurin pesuvesistä (l/s)

Käytännössä voidaan siis sanoa, että kun kaava antaa positiivisen arvon, lauhteesta on vajausta ja säiliön pinta on laskemaan päin. Negatiivinen arvo taas tarkoittaa, että lauhdetta syntyy yli kulutuksen. Kuten kuvion 4 pysyvyyskäyrästä voi päätellä, ylikaadon määrä saadaan selville tarkastelemalla kaavan antamia tuloksia silloin, kun säiliön pinta on 100 %. Vastaavasti vajausta tapahtuu pinnan ollessa noin 40 %. Mittausarvojen heittelystä johtuen määritettiin ylikaatopinnan olevan >99 % ja vajauspinnan 39–41 %.



Kuvio 4. Pysyvyyskäyrä VLS1-säiliön pinnanmittauksesta 15.2.-9.5.2020.

Mittausdatan perusteella VLS1-säiliö oli ylikaadolla noin 62 % mitatusta ajanjaksosta. Kun ylikaatoa tapahtui, sen määrä oli keskimäärin 1,2 m³/ADt. Vajausta lauhteesta oli 13,4 % ajasta, määrän ollessa 0,7 m³/ADt. Myös valkaisu tuotannon määrää kyseisinä hetkinä tutkittiin. Tuloksista voi päätellä, että vajausta tapahtui suurilla tuotantonopeuksilla, eli käytännössä koivuajolla. Vastaavasti säiliö kaatoi yli, kun ajettiin matalamman tuotannon, havupuun, jaksoja.

Kuten aiemmin mainittu, VLS2-säiliö kaataa yli huomattavasti enemmän kuin säiliö 1. Samalla ajanjaksolla VLS2 oli ylikaadolla 87 % ajasta ylikaatomäärän ollessa noin 1,3 m³/ADt. VLS2-vajausta ei tapahdu normaaleissa olosuhteissa, joten sen määrää ei

nähty tarpeelliseksi tutkia. Kun säiliöiden mittaustiedot yhdistää, yhtäaikaisen ylikaa-
don keskimäärävirtaus on 2,5 m³/ADt. Yhtäaikaista ylikaatoa tapahtui 56 % ajasta.

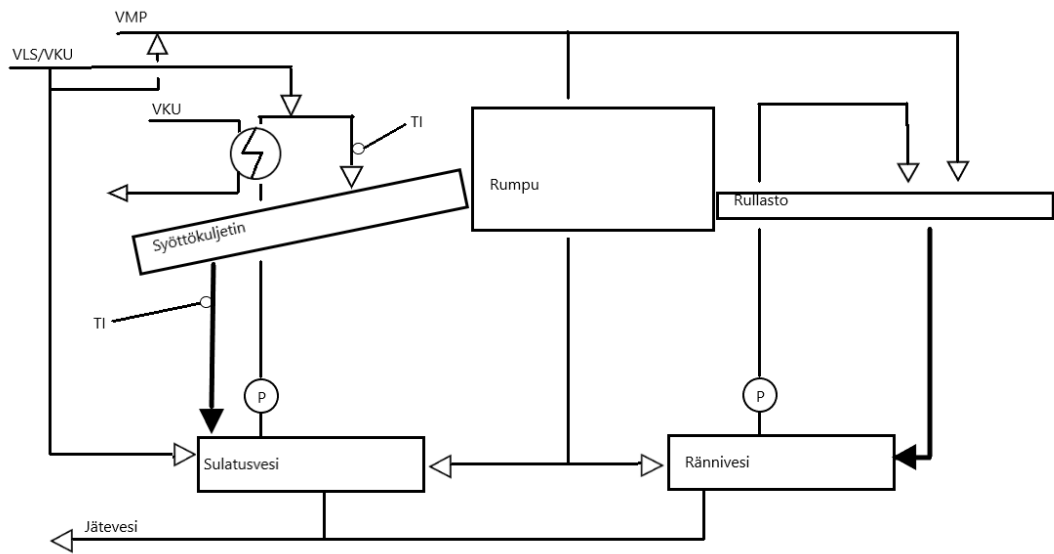
Saatujen ylikaatomäärien perusteella sekundäärilauhdetta pitäisi lähes aina olla riit-
tävästi puunkäsittelyn sulatustarpeisiin. Valkaisussa vajausta tapahtuu sen verran
harvoin, että toistaiseksi ei nähdä tarpeeksi hyötyä käyttää VLS2:a myös siellä.

3.2 Puunkäsittely

Koska linjojen 2 ja 3 kuumavesilämmönvaihtimet sijaitsevat lähellä toisiaan, uudet
sekundäärilauhdelinjat vedettiin vain kyseisille linjoille. Linjalla 1 ajetaan pääasiassa
mäntyä, jonka on todettu vaativan vähiten lämpöä kuorinnan mahdollistamiseksi.
VLS ja kaustistamon kuuma vesi tulevat puunkäsittelyyn samaa putkea pitkin ja mo-
lempia vesiä voidaan käyttää samaan aikaan. Kyseisen linjan maksimivirtaus on noin
70 litraa sekunnissa. Teoriassahan tämä määrä riittäisi kattamaan koko kuorimon ve-
sitarpeen, käytännössä aivan kaikkea VMP:tä ei ilman rakennemuutoksia pystytä kor-
vaamaan. VLS2-säiliön pintaan lisättiin ohjaus, joka pyrkii vakioimaan säiliön pinnan
tietylle tasolle. Näin varmistetaan, että kuorimolle ajetaan kaikki ylimääräinen sekun-
däärilauhde silloin, kun sitä on saatavilla. Toki on huomionarvoista, että lauhdeyli-
määrän huippuhetkinä säiliö tulee edelleen kaatamaan yli.

Kaustistamon kuumaa vettä ajettiin aiemmin suoraan sulatusvesikaivoon, mutta suu-
remman lämpötilaeron saavuttamiseksi uudet VLS/VKU-linjat asennettiin lämmön-
vaihtimien jälkeen lähelle sulatuskuljettimia. Uusien yhteiden jälkeen linjoissa ovat
lämpötilamittaukset, joten lämmönvaihtimia voidaan edelleen ohjata, mikäli sulatus-
veden lämpö määrä ei riitä puiden sulattamiseen. Koska kuorintalinja 1:lle ei tehty
VLS-yhdettä, on edelleen jätettävä mahdollisuus ajaa lauhdetta myös suoraan sula-
tusvesikaivoon. Näin lauhdetta voidaan käyttää, vaikka vain linja 1 olisi ajolla. Tämä
sulatusvesikaivoon menevä linja on myös yhteydessä rullaston pesuun menevän
VMP-linjan kanssa. Koska varsinainen vedensäästö tapahtuu VMP:tä korvaamalla,
olisi optimaalista, että myös rullaston pesu toteutettaisiin mahdollisuuksien mukaan
VLS/VKU:lla. Testiajossa kuitenkin huomattiin, että kuuma vesi aiheutti hussakointia
rullastolla. Sekundäärilauhteen vuoksi myös ränniveden pH nousi liian korkeaksi, joka

aiheutti muun muassa kuohaamista. Näistä syistä kuumaa vettä pystytään tois-
taiseksi hyödyntämään vain sulatusvesipuolella.



Kuvio 5. Havainnekuva kuorimon kiertovesistä (vastaa linjoja 2 ja 3)

Putkitöiden lisäksi sekundäärilauhteen käyttö ei pelkästään sulatuskäytössä aiheuta kovin mittavia muutostöitä edes ohjausjärjestelmässä. Yksi tällaisista kohteista on kuitenkin sulatusvesikaivon pinnanvarmistus. Venttiilin ohjaus on aikaisemmin perustunut laskentaan, joka laskee suoraan kaivoon ajettavan VMP:n määrän ajolla olevien linjojen määrän sekä viherlipeäjähdyttimeltä tulevan VKU:n virtauksen perusteella. Koska uudessa sulatusvesiratkaisussa pyritään olemaan ajamatta kuumaa vettä suoraan kaivoon, kyseinen virtausmittaus näyttää usein nolaa, ja näin ollen sotkee laskennan. Jos laskentaa ei muutettaisi, järjestelmä siis ajaisi VMP:tä kaivoon jatkuvasti, vaikka todellisuudessa vettä tulisi kaivoon ylen määrin sulatuskuljettimien kautta. Ongelma ratkaistiin vaihtamalla laskentaan toinen VLS/VKU-linjassa oleva virtausmittaus, joka on ennen sulatuskuljettimille lähtevää haaraa. Tällä tavalla laskenta toimii, ajettiin kuumaa vettä sitten sulatuskuljettimille tai suoraan kaivoon.

Uudella sulatusvesiratkaisulla onnistuttiin riittävän sulatusvesivirtaaman ansiosta lopettamaan mekaanisesti puhdistetun veden käyttö kuorimon sulatusvesipuolella. Normaalitilanteessa VMP:n käyttö kuorimolla vähenee kuorimon ajoista riippuen 15–

30 l/s. Lisäksi saavutettiin energiansäästöä lämmönvaihtimille ajettavan VKU:n vähentyneen tarpeen muodossa.

3.3 Vesitaseinäyttö

Koska ensisijaisena tavoitteena on vähentää biotuotetehtaan jätevesimäärää, on vedenkäyttöä pystyttävä tehokkaasti seuraamaan. Seurannan avulla voidaan todeta mitkä osat prosessista voisivat olla potentiaalisia säästökohteita ja toisaalta nähdään myös osastot, joiden tilanne on hyvällä mallilla. Lähtökohtana oli siis kehittää ohjausjärjestelmään sivu, josta saisi ikään kuin yhdellä vilkaisulla kuvan koko tehtaan vedenkäytöllisestä tilanteesta.

Ensimmäisenä toimenpiteenä tässä osassa työtä oli kartoittaa nimenomaan jäteveden kannalta olennaisia tietoja, jotka sivulle kerättäisiin. Lisäksi tuli päättää formaatti, eli millä tavalla tiedot sivulla esitettäisiin. Etukäteen yhtenä olennaisimmista tiedoista pidettiin usein ylikaadolla olevien kuivaamon kiertovesitornien laskentaa. Puutteellisten virtausmittausten takia tästä jouduttiin kuitenkin luopumaan. Toisena suurena kohteena ovat valkaisun suodossäiliöiden ylikaadot, jotka saatiinkin johdettua melko helposti. Laskennasta käy kuitenkin ilmi vain ylikaadon kokonaismäärä, ei yksittäisten säiliöiden ylikaatoa. Tällaisia esittämismielessä yksinkertaisia, isoja kohteita ei kuitenkaan ole kovin montaa, vaan vedenkäytön tila määräytyy useista pienistä, toisistaan osittain erillään olevista tekijöistä. Tästä syystä sivu päätettiin toteuttaa eräänlaisella liikennevalo-periaatteella. Jokaisella osastolla on tiettyjä ehtoja, joiden täytyessä osaston tila on joko vihreä eli hyvä, keltainen eli kohtalainen tai punainen eli heikko. Kaikkia ehtoja mitataan kuluneen tunnin (1 h) keskiarvona.

Massatehdas

Massatehtaan indikaattoriksi valittiin DO pesurilta lähtevä valkaisun hapan jätevesimäärä yhdistettynä valkaisun suodossäiliöiden ylikaadon määrään. Ylikaadon laskentaan voi luottaa ainoastaan, kun pesupuristin on käytössä, ja suodossäiliöihin ei ajeta pesuvettä tankkausventtiilin kautta (ks. Kuvio 3). Vertailukelpoisuuden parantamiseksi kokonaisvirtausta lasketaan suhteessa valkaisun tuotantoon. Lisäksi keltaiseen tilaan lisättiin ehdot kuumen veden ajamisesta pesupuristimelle ja EOP-

pesurille. Vaikka VKU:n käyttö lisää jätevesimäärää, sen käyttöä ei aina voida välttää (ks. kappale 3.1). Massatehtaan vedenkäytön indikaattorit kuviossa 6.

Massatehdas	
D0 jätevesi + valkaisu- suodossäiliöiden ylikaato	< 8,5 m ³ /t
D0 jätevesi + valkaisu- suodossäiliöiden ylikaato	8,5-9,5 m ³ /t
Tai VKU pesupuristin ja VKU EOP-pesuri auki	
D0 jätevesi + valkaisu- suodossäiliöiden ylikaato	> 9,5 m ³ /t

Kuvio 6. Massatehtaan indikaattorit

Kuorimo

Koska sekundäärilauhteen käyttö kuorimolla nostaa näennäisesti kiertovesialtaista poistuvan jäteveden määrää, ei osaston tilanne voi perustua pelkästään siihen. Toiseksi indikaattoriksi valittiinkin VMP:n kulutus. Ongelmaksi VMP:n mittaamisessa tulee sen riippuvaisuus ajossa olevien linjojen määrään. Koska linjat saattavat pysähdellä useinkin, kuvastaisi reaaliaikainen mittaus paremmin tilannetta. Kokonaisuuden kannalta koettiin kuitenkin tärkeämmäksi keskittyä kiertovesikaivojen pinnanvarmistusten kautta kuluvaan veteen, joten tätäkin suuretta mitataan tunnin keskiarvolla. Kuorimon ehdot esitetty kuviossa 7.

Kuorimo	
Kuorimon jätevesi	>70 l/s
Kuorimon jätevesi	70-100 l/s
Tai VMP kulutus	>45 l/s
Kuorimon jätevesi	>100 l/s
Tai VMP kulutus	>60 l/s

Kuvio 7. Kuorimon indikaattorit

Haihduuttamo

Haihduuttamon osalta vesinäyttöön päätettiin sisällyttää sekundäärilauhdesäiliöiden yhteenlaskettu ylikaato. Koska tuotetun sekundäärilauhteen määrä riippuu massa-tehtaalta poistuvan laihalipeän kuiva-ainepitoisuudesta, ja lauhteen kulutus puolestaan valkaisuun ajoista, ei ylikaadon määrä sinällään kuvasta juuri haihduuttamon tilaa. Lauhteen ylikaadon seuranta on kuitenkin todettu oleelliseksi asiaksi, ja se päätettiin yksinkertaisuuden vuoksi lisätä omana osastonaan eikä esimerkiksi massatehtaan yhteyteen. Ylikaadon laskennassa käytetään VLS1-säiliön osalta pitkälti samaa kaavaa kuin aiemmin. Koska halutaan selvittää nimenomaan ylikaadon määrä, VLS1 laskenta täytyy ottaa huomioon ainoastaan silloin, kun säiliön pinta on yli 99 %, eli VLS1 kaa-taa yli säiliöön 2. Luonnollisesti VLS2-säiliön pinnan on oltava yli 99 %, jotta ylikaatoa ylipäättään tapahtuu. Käytetty kaava:

$$Ylikaato = VLS \text{ säiliöön } 2 + (VLS \text{ säiliöön } 1 - VLS1 \text{ valkaisuun} - 10 \text{ l/s}) - (VLS2 \text{ kaustistamolle} + VLS2 \text{ kuorimolle} + 25 \text{ l/s}) \quad (2)$$

Kaava koostuu säiliöiden tulevista ja lähtevistä virtauksista. Ilman mittauksia olevat kohteet on kompensoitu vakiovirtauksilla. Ylikaadon lisäksi heikkoa tilaa lisättiin kuvaamaan VLS2-säiliön pinnanvarmistus, jonka aukeaminen kertoo suuresta vajeesta lauhteen määrässä suhteessa kulutukseen.

Haihduttamo	
Sekundäärilauhteiden ylikaato	< 30 l/s
Sekundäärilauhteiden ylikaato	30-70 l/s
Sekundäärilauhteiden ylikaato	> 70 l/s
Tai VLS2-säiliön pinnanvarmistus auki	

Kuvio 8. Haihduttamon indikaattorit

Kuivauskoneet

Ongelmallista kuivauskoneiden tilan kuvaamisesta tekee virtausmittausten puuttuminen, sekä vahva yhteys valkaisuun vedenkäytön kanssa. Tässä tilanteessa on siis hankala sanoa mitkä asiat voisivat kuvastaa juuri kuivaamon tilaa. Opinnäytetyön tekemisen aikaan kuivaamon vedenkäyttöön on alettu panostamaan vahvasti, ja osaston indikaattoreiksi valitut asiat lähinnä antavatkin lisäseurantaa kehitysprosessiin. Seurattaviksi asioiksi valikoituivat kiertovesitornien ylikaato sekä valkaisuun ajettavan 0-veden määrä.

Kuivauskoneet	
KK1 kiertovesitorni	<99%
Tai	
KK2 kiertovesitorni	<99%
Ja	
KK1+KK2 0-vesi valkaisuun	>13,5 m3/t
KK1 kiertovesitorni	>99%
Ja	
KK2 kiertovesitorni	>99%
Tai	
KK1+KK2 0-vesi valkaisuun	9,5-13,5 m3/t
KK1+KK2 0-vesi valkaisuun	<9,5 m3/t

Kuvio 9. Kuivauskoneiden indikaattorit

Jätevesi

Tehtaan vedenkäyttö luonnollisesti kulminoituu puhdistamolle tulevan jäteveden määrään. Parhaiten tilannetta tietysti kuvaisi tehtaan tuotantoon suhteutettu las-kenta. Tämä on kuitenkin hankala toteuttaa, koska koko tehtaan yhteisen tuotannon hetkellinen määrittäminen on monimutkaista. Jäteveden virtauksen voisi kuitenkin suhteuttaa tuotantoon esimerkiksi edellisen vuorokauden tiedoissa. Näin olisi mahdollista seurata myös liikennevalomallin ja sen raja-arvojen toimivuutta.

Jätevesi	
Tuleva jätevesi puhdistamolle	<850 l/s
Tuleva jätevesi puhdistamolle	850-1000 l/s
Tuleva jätevesi puhdistamolle	>1000 l/s

Kuvio 10. Jäteveden indikaattorit

4 Pohdinta

4.1 Keskeiset tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella automaatiojärjestelmään sivu, joka indikoi tehtaan vedenkäytön tilaa kullakin hetkellä, selvittää sekundäärilauhteen ylikaadon määrä ja käyttöpotentiaali sekä kehittää ratkaisuja puunkäsittelyn sulatusvesijärjestelmään. Keskeisimpänä tuloksena tällä hetkellä voidaan pitää sekundäärilauhteen onnistunutta käyttöönottoa puunkäsittelyssä. Vaikka kaikkea VMP:tä ei tällä erää pystyttykään korvaamaan lauhteella, onnistuttiin turha mekaanisesti puhdistetun veden käyttö lopettamaan sulatusvesipuolella. Sekundäärilauhteen ylikaadosta laadittu selvitys on pitänyt paikkansa, ja lauhdetta on riittänyt kompensoimaan puunkäsittelyn vesihäviöt, sekä vähentämään kiertoveden lämmitystarvetta.

Vedenkäyttönäyttöön onnistuttiin kehittämään ja löytämään mittareita, jotka antavat karkean osastokohtaisen kuvan tehtaan jätevesitilanteesta. Vaikka näytön toimintaperiaate on todella yksinkertainen, voi se herättää henkilöstöä tutkimaan vedenkäyttöä tarkemmin, ja toisaalta saada ajattelemaan oman osastonsa toimintaa myös koko tehtaan näkökulmasta. Kuitenkin, jotta lopullisesta näytöstä pystytään saamaan todellista hyötyä, tulee sen toimivuutta seurata ja kehittää edelleen muiden prosessien mukana.

Tulosten perusteella opinnäytetyön tavoitteissa onnistuttiin, joskin konkreettiset, mittavissa olevat vaikutukset esimerkiksi kokonaisjätevesimäärään ja energiankulutukseen ilmenevät tehtaalla vasta myöhemmin.

4.2 Kehityskohteet ja jatkotoimenpiteet

Prosessien kehittäminen on jatkuvaa toimintaa, joka ei lopu eikä sen pidäkään loppua. Loppujen lopuksi kaiken voi aina tehdä paremmin viimeistään silloin, kun teknologian kehittyminen antaa siihen mahdollisuudet ja työkalut. Biotuotetehtaan suurimpana kehityskohteena on pidettävä tiettyjen virtausmittausten puuttumista. Lisäämällä mittauksia tehtaan jätevesimäärää voitaisiin optimoida edelleen ja etenkin kuivauskoneiden parissa työtä vielä riittää. Puunkäsittelyssä työ jatkuu prosessiohjausten hiomisen muodossa. Oleellisimpia asioita ovat järjestelmän toiminta tilanteessa, jossa sekundäärilauhdetta ei riitäkään puunkäsittelyyn, tai vain yksi kuorintalinja on ajolla. Myös rullaston pesuveden korvaaminen jollain toisella jakeella on tavoittelemisen arvoinen asia.

Valkaisun vedenkäytön tehokkuus on vahvasti riippuvainen pesupuristimen toimivuudesta ja käyttöasteesta. Mielestäni pesupuristimen vaikutuksista vedenkäyttöön ja mahdollisista ratkaisuista sen parissa oleviin ongelmiin voisi teettää oman opin- näyte- tai diplomityön. Myös sekundäärilauhteen käyttöä muissa kohteissa voisi kar- toittaa edelleen, jotta ylimäärää voisi hyödyntää toisaalla esimerkiksi kuorimon kat- kotilanteessa.

Vedenkäyttönäytön varsinainen toteuttaminen ja käyttöönotto jäivät aikataulullisista syistä varsinaisen opinnäytetyön ulkopuolelle. Tämän on kuitenkin määrä toteutua alkuvuodesta 2021.

4.3 Aineisto ja opinnäytetyöprosessi

Sellunvalmistus prosessina on pysynyt pääperiaatteiltaan samanlaisena jo vuosikymmeniä, joten tietoa aiheesta löytyy melko paljon ja suhteellisen helposti. Kotimaan metsäteollisuuden pitkien perinteiden ansiosta käytännössä kaikki vaadittava tieto löytyy myös suomeksi. Vaikka osa etenkin kirjallisista lähteistä ovat suhteellisen vanhoja, voi niitä suurilta osin silti pitää luotettavina ja pätevinä tänä päivänä. Verkko-lähteitä tutkittaessa joutui ajoittain väistelemään mainontaa etenkin yksittäisiin laitteisiin liittyen. Keskimäärin lähteet kuitenkin tuntuivat puolueettomilta, varsinkin yleisemmällä tasolla.

Lähdeaineistosta oli kuitenkin hyötyä lähinnä työn teoriaperustaa rakentaessa. Koska työ oli niin soveltava, aiempia varsinaisia käytännön ratkaisuja ei löytynyt. Tähän voi osaltaan vaikuttaa myös se, että sellutehtaat harvoin ovat tismalleen samanlaisia keskenään. Etenkin Äänekosken tehdas on niin uusi, ettei vastaavia ratkaisuja välttämättä löydy muualta.

Sekundäärilauhteen taseita tarkasteltaessa pääasiallinen tutkimusdata saatiin tehtaan Valmet DNA järjestelmästä. Historiatiedot kerättiin Microsoft Excel-tiedostoon, jossa laskentaa oli helpompaa suorittaa. Tämä osa työstä oli hyvinkin mahdollista suorittaa itsenäisenä työskentelynä. Puunkäsittelyn sulatusvesihanketta työstettiin yhdessä tehtaan kehitys- ja suunnitteluhenkilöstön sekä osastoinsinöörien kanssa. Sopivat indikaattorit kuvaamaan vedenkäyttöä saatiin pääasiassa osastoinsinööreille osoitetuilla sähköpostikyselyillä. Työhön liittyi myös jonkin verran kenttätyöskentelyä.

Koska opinnäytetyö koostui useasta hyvinkin laajasta osasta, suurin osa ajasta kului prosessinäyttöjen tutkimiseen ja oman ymmärryksen kehittämiseen. Etenkin tehtaan

vesitaseen ymmärtäminen vaatii yllättävän paljon perustietoa jokaisesta osaprosessista. Työn alkuvaiheen tietämättömyyden vuoksi tekijällä olikin turhan suuria suunnitelmia vesitasenäytön suhteen, jotka myöhemmin osoittautuivat nykytilanteessa mahdottomiksi toteuttaa. Opinnäytetyön ajan vallitsema koronavirusepidemia loi omat haasteensa työn etenemiseen, toisaalta syksyyn mennessä oltiin jo totuttu etätyöskentelyyn. Kommunikointi hoidettiin säännöllisillä Microsoft Teams -seuranta-palavereilla ja sähköpostin välityksellä. Muilta osin opinnäytetyöprosessi eteni kivuttomasti ja suuremmilta takaiskuilta vältyttiin.

Itse aihe tarjosi energia- ja ympäristötekniikan opiskelijalle paljon päänvaivaa ja sitä kautta oppimista molemmista tutkinnon osa-alueista, jotka varsinkin tänä päivänä ovat ehkä suurimmat haasteet metsäteollisuuden kentällä. Koenkin saaneeni ainutlaatuisen mahdollisuuden päästessäni työskentelemään sellunvalmistuksen parissa näinkin laaja-alaisesti ja tästä, sekä saamastani luottamuksesta ja avusta haluankin kiittää toimeksiantajaa, opinnäytetyön ohjaajaa ja muita työssä mukana olleita.

Lähteet

Bajpai, P. 2010. Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper. John Wiley & sons.

Biermann, C. 1996. Handbook of pulping and papermaking. Academic Press.

Blomfelt, F. 2019. Metsäteollisuus toteuttaa YK:n kestävän kehityksen Agenda 2030 - tavoitteita. Metsäteollisuus ry. 5.7.2019. Viitattu 5.9.2020.

<https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/ymparisto-ja-vastuullisuus/agenda-2030/metsateollisuus-toteuttaa-ykn-kestavan-kehityksen-agenda-2030-tavoitteita/>

Fardim, P. 2011. Chemical pulping part 1, fibre chemistry and technology. Helsinki: Paperi ja Puu.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

KnowPulp. 2020. KnowPulp-oppimisympäristö. Versio 18.0.

Metsä Fibre Oy vuosikatsaus 2014. Viitattu 2.10.2020. <https://www.metsagroup.com/fi/Documents/Julkaisut/Metsa-Group-Vuosikatsaus-2014.pdf>

Metsä Fibre Oy vuosikatsaus 2019. Viitattu 2.10.2020. <https://annualreview.metsafibre.com/?etusivu>

Metsä Fibre. Äänekosken biotuotetehdas. Viitattu 3.10.2020. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Biotuotetehdas/Pages/default.aspx#>

Metsä Group kotisivut. Äänekosken biotuotetehdas – Suomen metsäteollisuuden uusi luku. Viitattu 2.10.2020. <https://www.metsagroup.com/fi/Media/Pages/Case-Aanekosken-biotuotetehdas.aspx#>

Päätös 4/2015/1. 2015. Aluehallintovirasto. Viitattu 5.9.2020.

Tikka, P. 2008. Chemical pulping part 2, recovery of chemicals and energy. Helsinki: Paperi ja Puu