



# Mäntyöljykeittämön tuotannon optimointi

Mika Haakana

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikka

HAAKANA, MIKA:  
Mäntyöljykeittämön tuotannon optimointi

Opinnäytetyö 45 sivua  
Joulukuu 2020

---

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enson Imatran tehtailla Kaukopään voimalaitokselle. Suurelta osin työ liittyy vuonna 2019 mäntyöljykeittämölle ja haihduttamolle tehtyihin prosessimuutoksiin, joita ei kuitenkaan ollut ehditty ottaa käyttöön. Näiden muutosten tavoitteena oli optimoida mäntyöljykeittämön tuotantoa eli parantaa mäntyöljyn laatua ja sen tuotannon tasaisuutta, vähentää haihduttamo 6:n 2-yksikön likaantumista sekä kasvattaa mäntyöljyn tuotantomäärää.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lähes valmiiksi tehtyjen prosessimuutosten onnistunut käyttöönotto, niiden vaikutusten tarkastelu sekä mäntyöljykeittämöllä olleiden kehityskohtien parantaminen. HDS:ltä poistettava emävesi vaihdettiin menemään välilipeäsäiliön sijaan haihduttamon 1-yksiköihin, jotta 2-yksikkö ei likaantuisi. HDS:lle menevään suopalinjaan lisättiin johtokykymittaus, jotta pystytään nopeasti näkemään, jos suovan seassa on prosessia häiritsevää mustalipeää. HDS:n emäveden kierrätyslaitteisto pyrittiin ottamaan käyttöön ja sille tehtiin oma kierrätyssekvenssi, jotta HDS:n ligniinikerros ei jäykistyisi liikaa ja aiheuttaisi siten tukoksia. Suovan palstoitukseen syötettävän rikkihapon virtauksen heittälystä johtuvien tuotantokatkojen syyt selvitettiin ja niitä vähennettiin. Mäntyöljykeittämön muut sekvenssit olivat vanhentuneet, ja ne päivitettiin.

Opinnäytetyöhön sisällytetyt työt saatiin tehtyä yhtä lukuun ottamatta onnistuneesti, ja tulokset ovat vähintäänkin tyydyttäviä. Tehdyillä muutoksilla saatiin vähennettyä haihduttamo 6:n 2-yksikön likaantumista ja rikkihapon virtauksen heittälyistä johtuneita tuotantokatkoja. Mäntyöljykeittämön sekvenssit toimivat nyt paremmin. Saatujen tulosten perusteella samankaltaisia muutoksia voidaan suunnitella myös muualle talteenottoon. Esimerkiksi HDS:ltä poistettavalle emävedelle voitaisiin tehdä säiliö, josta se voidaan pumpata myös haihduttamo 5:lle. Tämän lisäksi opinnäytetyössä havaittiin myös muita mäntyöljykeittämön prosesseihin liittyviä kehityskohteita.

Asiasanat: haihduttamo, mäntyöljy, optimointi, HDS, emävesi

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Bioproduct and Process Engineering

HAAKANA, MIKA:  
Optimisation of The Production Process of Tall Oil

Bachelor's thesis 45 pages  
December 2020

---

This thesis was commissioned by Stora Enso Imatra mills, Finland. In this work, the process changes made earlier for the black liquor recovery were introduced and the production process of tall oil was optimised with various changes.

In the thesis, the brine removed from the HDS digester was changed to go to the last evaporator units. Conductivity measurement was added to the soap line. There was an attempt to enable the HDS's brine recycling equipment it had its own recycling sequence. The reasons for sulfuric acid's flow swinging were investigated and the swinging was decreased.

The included work was completed successfully except for one and the results of the changes are at least satisfactory. The changes reduced fouling of the second last evaporator unit and production interrupts consequent upon the sulfuric acid flow swing. The new and the updated sequences of the tall oil digester works better now. Based on the results obtained, similar changes can be planned also elsewhere in the pulp mill. Also various development targets were found in this work.

---

Key words: evaporation plant, tall oil, optimization, HDS, brine

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	STORA ENSO OYJ .....	7
3	SELLUN VALMISTUS JA KEMIKAALIKIERTO .....	8
	3.1 Sulfaattisellun valmistuksen yleinen kuvaus .....	8
	3.2 Kemikaalikierto.....	10
4	RAAKAMÄNTYÖLJY .....	13
	4.1 Puun uuteaineet.....	13
	4.1.1 Uuteaineiden reaktiot.....	14
	4.2 Valmistusprosessi .....	15
	4.2.1 Suovan erotus .....	15
	4.2.2 Suovan käsittely .....	18
	4.2.3 Hapotus .....	18
	4.2.4 HDS-keittämö .....	19
	4.3 Laatu .....	21
	4.4 Lopputuotteet .....	22
5	MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖN PROSESSIMUUTOKSET .....	23
	5.1 Haihuttamolle tuleva emävesi .....	23
	5.1.1 Lämpöpintojen kerrostumat .....	23
	5.1.2 Haihdutinyksiköiden likaantuminen.....	24
	5.1.3 Vanha emävesilinja .....	25
	5.1.4 Uusi emävesilinja.....	26
	5.2 Suovan johtokyvyn mittaus .....	29
	5.2.1 Johtokykymittari.....	29
	5.2.2 Johtokykymittauksen käyttöönotto.....	30
	5.3 Emäveden kierrätys .....	31
	5.3.1 Kierrätyslaitteisto .....	31
	5.3.2 Emäveden kierrätyksen koeajot.....	32
	5.3.3 Emäveden kierrätyssekvenssi .....	35
	5.4 Rikkihappo palstoitukseen .....	35
	5.4.1 Rikkihapon virtauksen heilahtelu .....	36
	5.4.2 Rikkihappopumpun PID-säätimen parametrit .....	37
	5.4.3 Rikkihapon virtauksen lasku .....	39
	5.5 Mäntyöljykeittämön sekvenssit.....	40
6	YHTEENVETO .....	41
	LÄHTEET.....	43

**LYHENTEET JA TERMIT**

AHS	aikahäviöseuranta
ARI	rikkihappo
EMU	mustalipeä
EPE	pesulipeä
ESU	suopa
EVA	valkolipeä
EVH	vahvamustalipeä
EVI	viherlipesä
EVL	välilipesä
HDS	hydrodynamic separation -keitin
HO	haihduttamo
TD	lämpötilaero
VEV	emävesi

## 1 JOHDANTO

Mäntyöljyn laadukas tuotanto on tärkeää talteenoton muiden prosessien toiminnan kannalta ja sen lisäksi tehdas saa siitä saadaan lisää tuottoa. Stora Enson Imatran tehtaiden voimalaitoksen talteenottoon oli tehty prosessimuutoksia vuonna 2019, mutta niitä ei ehditty ottaa käyttöön. Opinnäytetyön tavoitteena oli lähes valmiiden muutosten onnistunut käyttöönotto, sekä mäntyöljykeittämöllä olevien kehityskohteiden parantaminen. Näiden kaikkien muutosten tarkoituksena oli optimoida mäntyöljykeittämön tuotantoa, eli yleisesti parantaa mäntyöljykeittämön tuotannon tasaisuutta ja laatua vähentämällä tuotantokatkoja.

Työhön sisältyneet muutokset ja kehityskohteet olivat: HO6:n 2-yksikön likaantuminen, suovan johtokykymittaus, emäveden kierrätyslaitteisto ja kierrätyssekvenssi, palstoitukseen menevän rikkihapon virtausheittelyiden vähentäminen, sekä mäntyöljykeittämön sekvenssien päivittäminen. Kaikki muutokset liittyivät mäntyöljyn tuotantoprosessiin.

Työn sisältö oli tarpeellinen ja ajankohtainen, sillä esimerkiksi haihduttamon lämmönsiirtopintojen likaantumista on tutkittu lähiaikoina. Erityisen mielenkiintoinen oli ruotsalaisen Chalmersin Teknillisen yliopiston marraskuussa 2020 valmistuneen Evaporator scaling research -tutkimuksen tulokset, jossa Erik Karlsson ym. tutkivat mustalipeähaihduttamon lämmönsiirtopintojen likaantumiseen vaikuttavia tekijöitä. Tuloksissa havaittiin, että mäntyöljykeittämöltä poistettava emävesi estää mustalipeähaihduttamon lämmönsiirtopintojen likaantumista. Tutkimuksen tuloksia puolsi myös tässä opinnäytetyössä tehdyn muutoksen vaikutukset. (Karlsson 2020.)

## 2 STORA ENSO OYJ

Stora Enso on maailmanlaajuisesti toimiva uusiutuvien biomateriaali-, pakkaus-, paperi- ja puutuotteiden toimittaja, jonka liikevaihto oli vuonna 2019 10,2 miljardia euroa. Yhtiö työllistää noin 25 000 ihmistä yli 30 maassa. (Tietoja Stora Ensosta n.d.)



KUVA 1. Stora Enson Kaukopään tehtaat (Kaukopään tehtaat 80 vuotta 2015.)

Stora Enson suurin tehdasintegraatti on Imatran tehtaat ja siellä työskentelee noin 1050 ihmistä. Se koostuu Kaukopään (kuva 1.) ja Tainionkosken tehdasyksiköistä ja yhdessä ne muodostavat yhden maailman suurimmista kuluttajakartonkitehtaista. Imatran tehtaat valmistavat elintarvike-, nestepakkaus- ja graafisia kartonkeja sekä joustopakkauspapereita. (Imatran tehtaat n.d.; Tuotantopäällikkö n.d.)

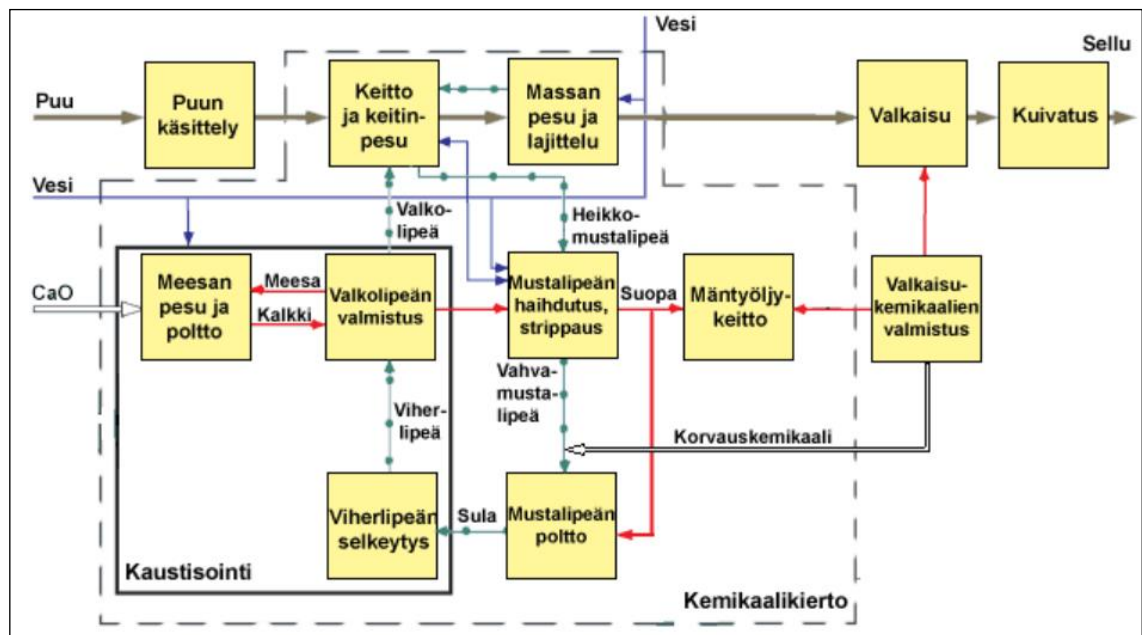
### 3 SELLUN VALMISTUS JA KEMIKAALIKIERTO

Kemiallisessa sellunvalmistuksessa haketetun puun kuidut erotetaan toisistaan lämmön ja kemikaalien avulla. Sulfaattikeitto on nykypäivänä selkeästi yleisin keittomuoto ja siinä keittokemikaalina on valkolipeä. Keittoprosessi voi olla panos- tai jatkuvatoiminen. Keittokemikaalit ovat melko kalliita ja muun muassa sen takia niitä pyritään kierrättämään prosessissa kemikaalikierron avulla mahdollisimman tarkasti. Lisäksi sellun valmistuksen sivuvirtoina saadaan useita biotuotteita, joita voidaan käyttää tehtaalla itse, tai myydä ne eteenpäin. (Isotalo 2004, 65.)

#### 3.1 Sulfaattisellun valmistuksen yleinen kuvaus

Sulfaattisellun valmistus alkaa puun käsittelyllä, jossa puu kuoritaan ja haketetaan. Keitossa käytetään joko lehti- tai havupuuta. Hake seulotaan, jotta liian pienet ja isot jakeet saadaan erotettua. Hyväksytyt jakeet, akseptit, syötetään paineistettuun keittimeen, jossa hakkeen sekaan lisätään kuumaa höyryä ilman poistamiseksi hakelastuista. Tämän jälkeen keittimeen lisätään lämmintä (80–100 °C) valkolipeää ja aiemmista keitoista syntyneitä mustalipeää. Valkolipeä on kemikaaliseos, jonka vaikuttavina kemikaaleina toimivat natriumhydroksidi (NaOH) ja natriumsulfidi (Na<sub>2</sub>S). Mustalipeä taas on keitossa reagoinutta valkolipeää, johon on liuennut puun kemiallisia yhdisteitä. Kemikaalien ja lämmön avulla poistetaan kuituja sitovaa ligniiniä, sekä puun uuteaineita. Keittolämpötila on yleensä 150–170 °C. Kuviossa 1. on esimerkki sulfaattisellutehtaan kemikaalikierrosta. (Fardim 2011, 203.)





KUVIO 1. Sulfaattisellutehtaan kemikaalikierron lohkokaavio (Knowpulp 2020a)

Yksi sellun tärkeimmistä laatutekijöistä on kappaluku, joka kuvaa kuidussa jäljellä olevan ligniinin määrää. Valkaisukemikaalit ovat keittokemikaaleja selkeästi kalliimpia, joten ruskean värin aiheuttava ligniini pyritään poistamaan valkaistavissa massalaaduissa jo keitossa melko tarkasti. Ligniinin liiallinen poisto keittovaiheessa lisää kuitenkin selluloosan liukenemistä ja alentaa silloin massan lujuutta ja saantoa. Valkaistavan massan keiton jälkeinen kappaluku on nykyään havupuulla 25–30 ja lehtipuulla 14–20. Valkaisemattoman massan keiton jälkeinen kappaluku on yleensä 40–100, koska ligniiniä ei tarvitse poistaa. Keiton aikana uuteaineisiin kuuluvat terpeenit erottuvat haihtumalla muista uuteaineista ja ne poistetaan hajukaasujen mukana. Lauhduuttamalla terpeenit saadaan raakatärpättiä, joka voidaan myydä tai käyttää tehtaalla. (Seppälä ym. 2005, s.82.)

Keiton jälkeen massa pestään ja lajitellaan. Ruskean massan pesun tarkoituksena on erottaa keitossa syntynyt jäteliemi kuituvirrasta, jotta arvokkaat kemikaalit saadaan uudelleen käyttöön ja liuennut puuainne voidaan käyttää polttoaineena. Pesussa käytetään vettä, sekä aiemmissa pesuvaiheissa syntyneitä suodosta. Lajittelussa massasta poistetaan epäpuhtauksia, esimerkiksi kuorta, hiekkaa, metallia ja keittymättömiä hakepaloja. Jos näitä epäpuhtauksia ei poisteta, ne huonontavat lopputuotteen laatua, aiheuttavat ajettavuusongelmia ja voivat rikkoa prosessilaitteita. Pesun ja lajittelun jälkeen

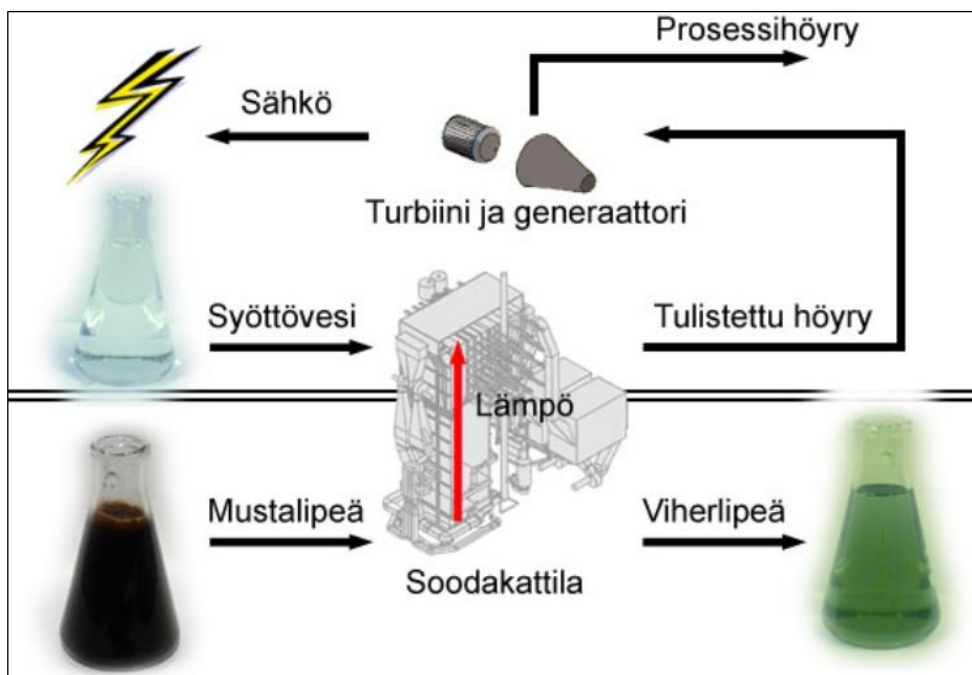
massa pumpataan varastosäiliöihin, joista valkaistava massa menee valkaisuun ja valkaisematon massa menee paperi- tai kartonkikoneiden käyttöön.

Valkaisun jälkeen massa lajitellaan vielä uudestaan ja sen jälkeen se menee käyttöön tai se voidaan kuivata paaleiksi. (Fardim 2011, 384.)

### 3.2 Kemikaalikierto

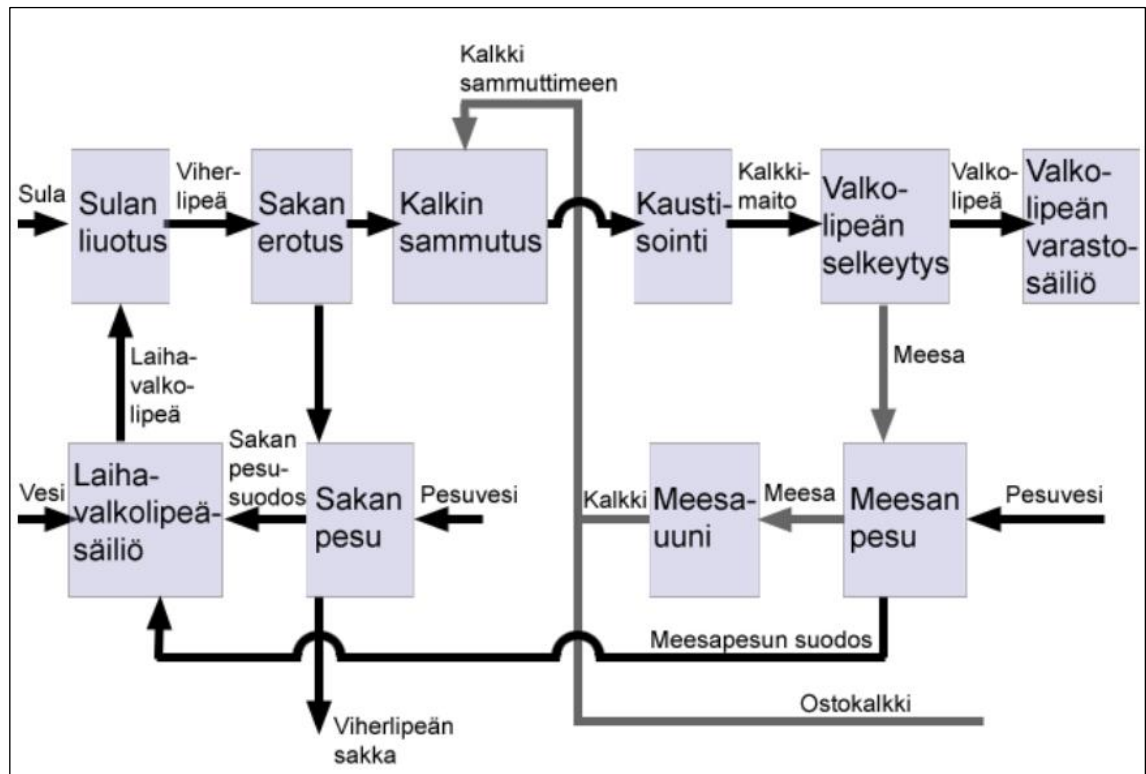
Massan pesuissa erotettua helposti kuohaavaa jäteliemeä kutsutaan pesulipeäksi, laihalipeäksi tai heikkomustalipeäksi. Haihduttamalla mustalipeästä poistetaan vettä haihduttamalla sarjassa olevilla lämmönvaihtimissa, eli haihduttimissa, ennen soodakattilalle syöttämistä. Haihduttamolle tulevan pesulipeän kuiva-aine on noin 15–16 % ja se poistuu sieltä noin 72–80 % kuiva-ainepitoisuudessa ja silloin sitä kutsutaan vahvamustalipeäksi. Tämän lisäksi haihduttamalla otetaan talteen keitossa syntyvät sivutuotteet, esimerkiksi metanoli, suopa ja tärpähti. (Knowpulp 2020b.)

Haihduttamolta poistuva vahvamustalipeä väkevöidään vielä polttolipeäksi, jolloin kuiva-ainepitoisuus on jopa yli 80 %. Soodakattilan tehtävinä on keittokemikaalien talteenotto, orgaanisen aineksen polttaminen, sekä palamisesta syntyvän lämmön talteenotto. Polttolipeä poltetaan soodakattilassa, jolloin mustalipeän sisältämä rikki pelkistyy natriumsulfidiksi. Muussa muodossa oleva natrium reagoi hiilidioksidin kanssa ja muodostaa natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), eli soodaa. Epäorgaaninen kemikaalisula valuu alaosan sulakourujen kautta pois soodakattilasta ja se liuotetaan heikkovalkolipeään synnyttäen viherlipesä. Kemikaalisula sisältää natriumkarbonaattia, natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ja natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). Orgaanisen aineksen poltosta vapautuu paljon lämpöenergiaa, joka siirretään soodakattilan kattilaveteen. Vesi höyrystyy ja turbiinilla siitä saadaan tuotettua sähköä kuvion 2. mukaisesti. Osa syntyvästä höyrystä käytetään tehtaan prosesseissa, esimerkiksi kartonkikoneella tai sellutehtaalla. (Knowpulp 2020c.)



KUVIO 2. Höyryn tuottaminen soodakattilassa (Knowpulp 2020c.)

Muodostunut viherlipeä menee kaustistamolle, missä valmistetaan valkolipeää. Kaustisointi on prosessi, jossa natriumkarbonaatti muutetaan natriumhydroksidiksi, eli viherlipeästä tehdään valkolipeää, jota voidaan taas käyttää keitossa. Kuviossa 3. näkyy valkolipeän valmistuksen lohkokaavio. Viherlipeä sisältää myös pienen määrän liukenemattomia yhdisteitä, kuten nokea ja vuorauksien kulumisesta aiheutuvia silikaatteja. Tätä liukenematonta ainesta kutsutaan viherlipeäsakaksi ja se poistetaan viherlipeästä yleensä selkeyttämällä tai suodattamalla. (Knowpulp 2020d.)



KUVIO 3. Valkoliipeän valmistuksen lohkokaavio (Knowpulp 2020d.)

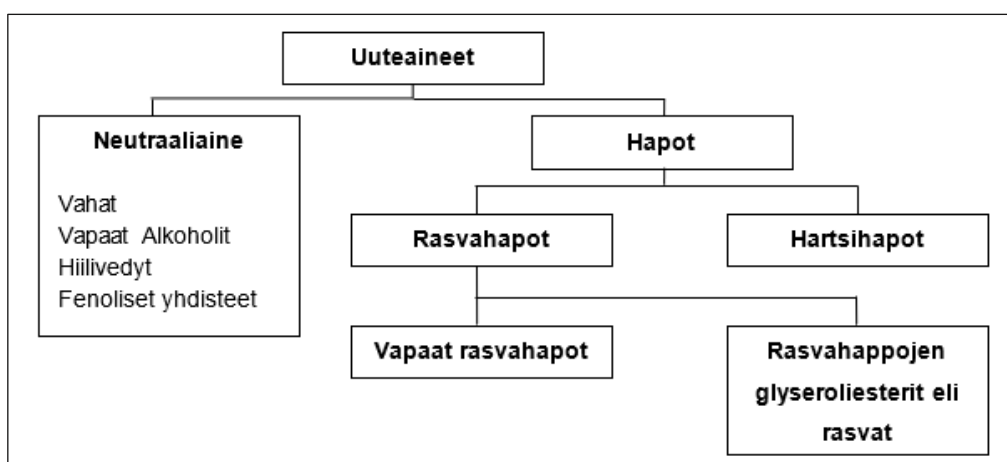
Sakan erotuksen jälkeen viherlipeä kaustisoidaan kahdessa reaktiovaiheessa. Ensimmäisessä reaktiossa, sammutusreaktiossa, meesauunista tulleen poltetun kalkin kalsiumoksidi ( $\text{CaO}$ ) reagoi viherlipeässä olevan veden kanssa ja muodostaa kalsiumhydroksidia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Reaktio on voimakkaasti lämpöä vapauttava. Toisessa reaktiossa kalsiumhydroksidi reagoi natriumkarbonaatin kanssa hitaasti ja muodostaa kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ), jota kutsutaan myös meesaksi. Muodostuneesta kalkkimaidosta erotetaan reaktiossa muodostunut meesa selkeyttämällä tai suodattamalla ja jäljelle jäänyt valkolipeä on valmis käytettäväksi taas keitossa. Erotettu meesa pestään, kuivataan ja sen jälkeen poltetaan meesauunissa, jolloin saadaan kaustisoinnissa käytettävää kalsiumoksidia, poltettua kalkkia. Näin kemikaalikierto on valmis. (Knowpulp 2020e.)

## 4 RAAKAMÄNTYÖLJY

Ilmaston lämpenemisen, fossiilisten polttoaineiden loppumisen ja muiden ympäristöasioiden noustessa otsikoihin ratkaisua haetaan laajalti uusiutuvista luonnonvaroista, kuten puusta. Raakamäntyöljy on sellun valmistuksesta saatava rinnakkaistuote, jolla on jatkojalostuksen jälkeen erittäin paljon erilaisia loppukäyttökohteita. Raakamäntyöljyn tuotannolla sellutehdas saa lisätuottoa, mutta sen erotus mustalipeästä on tärkeää myös muiden talteenoton prosessien sujuvan toiminnan kannalta. Mäntyöljyä käyttäviä teollisuudenaloja ovat muun muassa kaivos-, liima-, maali-, lääke-, muovi- ja polttoaineteollisuus. (Alén 2011, 132.; Mäntyöljy n.d.)

### 4.1 Puun uuteaineet

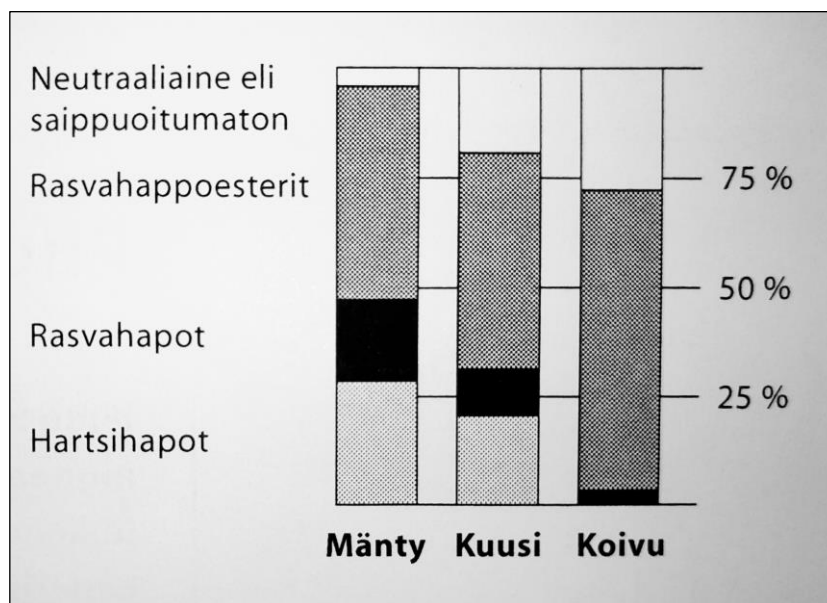
Puun uuteaineita kutsutaan yleisesti pihkaksi ja ne aiheuttavat puulle sen hajun, värin ja maun. Uuteaineisiin kuuluu monia erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joilla on yleensä pieni molekyylimassa. Yleisesti uuteaineet ovat liukoisia orgaanisiin liuottimiin tai veteen. Uuteaineet voidaan jakaa neutraaliaineisiin sekä happoihin kuvion 4. mukaisesti. Useilla puulajeilla pihkan tehtävänä on suojella puun haavoja bakteereilta, tuholaisilta ja sieniltä. (Lew 2013, 40.)



KUVIO 4. Puun uuteaineiden koostumus

Havu- ja lehtipuiden pihkat eroavat toisistaan muun muassa koostumukseltaan ja määrällisesti, kuten kuviosta 5. nähdään. Havupuissa pihkaa on

pihkarakkuloissa ja pihkatiehyissä hartsihappoina ja monoterpeeneinä. Sen lisäksi myös ydinsäteiden tylppysoluissa vararavintona. Lehtipuiden pihka taas sijaitsee vain ydinsäteiden tylppysoluissa ja se koostuu vahoista, rasvoista ja steroleista. (Isotalo 2004, 53.)



KUVIO 5. Eri puulajien uuteaineinekomponenttien määrät (Isotalo 2004, 54)

Pihkan määrään ja koostumukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten puulaji, kasvupaikka, maaperän laatu, kasvunopeus, sekä tukkien ja hakkeen varastointi. Esimerkiksi hakkeen varastoinnissa uuteaineiden määrä puolittuu ensimmäisen kuukauden aikana. (Stenius 2005, 43–44.)

#### 4.1.1 Uuteaineiden reaktiot

Sulfaattikeitossa helposti haihtuvat terpeenit ovat pääasiallisesti hiilivetyjä ja ne erottuvat muista uuteaineista. Ne poistuvat hajukaasujen mukana, jonka jälkeen lauhduttamalla saadaan raakatärpättiä, joka voidaan käyttää tehtaalla tai myydä eteenpäin. Muut uuteaineet liukenevat emäksiseen keittonesteseen, jolloin hartsii- ja rasvahapot saippuoituvat natriumsaippuoikseen, jotka taas muodostavat misellejä, jotka aiheuttavat mustalipeän kuohaamisen. (Allen & Back 2000, 207.)

Havupuun uuteaineet liukenevat helposti keittonesteseen toisin kuin koivupuun, jonka uutuksessa ei ole ollenkaan hartsihappoja ja vain vähän rasvahappoja.

Lisäksi koivun kuituhuokokset ovat pienempiä, mikä vaikeuttaa liukenemistä. Saippuamisellit yhdistyvät ja nousevat kevyempinä mustalipeän pintaan muodostaen raakasuopakerroksen. Kuitenkin mustalipeän sekaan jää aina liuenneena suopaa, koska suovan eroaminen ei ole täydellistä. (Isotalo 2004, 105.)

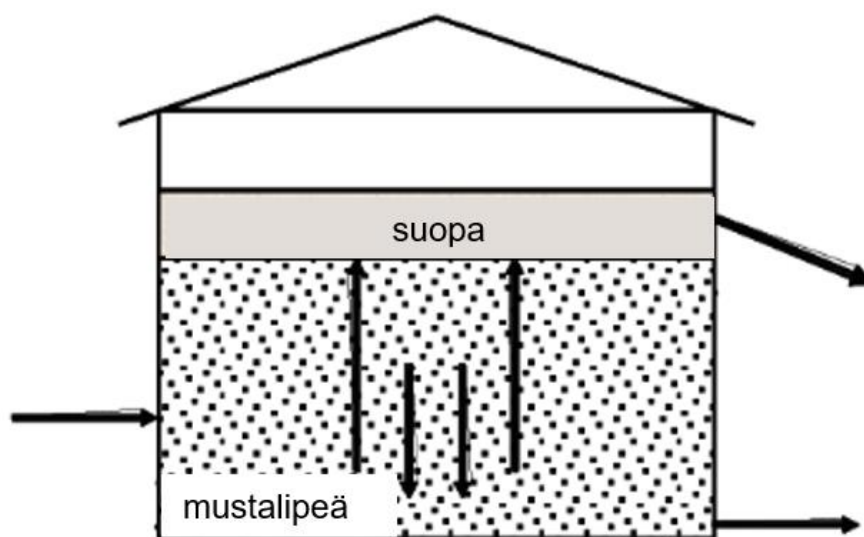
## **4.2 Valmistusprosessi**

Mäntyöljyn valmistukseen on olemassa muutamia erilaisia keittämötyyppejä, kuten panos- ja jatkuvatoimisia keittämöitä. Palstoitus voi olla yksi- tai kaksivaiheinen ja siinä voidaan käyttää eri kemikaaleja. Lisäksi raakamäntyöljy voidaan erottaa dekantoimalla tai separaattorin avulla. Tässä työssä käsitellään tarkemmin jatkuvatoimista HDS-keittämöä, jossa mustalipeästä erotettu suopa palstoitetaan rikkihapolla raakamäntyöljyksi.

### **4.2.1 Suovan erotus**

Raakamäntyöljyn valmistusprosessin voidaan sanoa alkavan suovan erotuksesta, joka tapahtuu dekantoimalla ylikaatokourujen avulla, kuvion 6. mukaisesti. Suopaa erotetaan mustalipeästä kolmen pääsyyntä:

- suopa heikentää kuitujen laatua happivaiheessa lisäämällä ruskean massan pesuhäviötä,
- suopa aiheuttaa häiriöitä haihdutuksessa ja poltossa ja
- suovasta saatava raakamäntyöljy tuo tehtaalle lisätuottoa. (Tikka 2008, 367.)



KUVIO 6. Suovan nousunopeus on suurempi kuin mustalipeän laskunopeus (Tikka 2008, 368, muokattu.)

Yleisesti suopaa erotetaan mustalipeästä kolmessa eri vaiheessa: pesulipeästä, heikkomustalipeästä, sekä välilipeästä. Parhaiten suopa eroaa kuitenkin välilipeästä kuiva-ainepitoisuuden ollessa 28–32 % ja siellä erotus tapahtuukin yleensä jatkuvatoimisena. Pesulipeässä kuiva-ainepitoisuuden ollessa matala mustalipeä on laihaa ja aktiivinen alkali on alhainen, kun taas korkeammassa kuiva-ainepitoisuudessa nesteen viskositeetti kasvaa ja estää partikkelien nousemisen. Suopapartikkeleiden nousunopeus seuraa Stokesin yhtälöä

$$v = \frac{d_p^2 \Delta \rho g}{18 \mu} \quad (1)$$

jossa  $v$  on suovan nousunopeus,  $d^2$  on suopapartikkelin halkaisija,  $\Delta \rho$  on suopapartikkelien ja mustalipeän tiheysero,  $\mu$  on mustalipeän viskositeetti ja  $g$  on painovoima. (Tikka 2008, 367–368.)

Yhtälöstä (1) voidaan huomata, että nousunopeus kasvaa, kun suopapartikkelin halkaisija ja tiheysero kasvavat. Mustalipeän viskositeetti taas laskee, kun lämpötila nousee ja kun liuenneiden kiintoaineiden pitoisuus laskee. Suopapartikkelien kokoa voidaan suurentaa erilaisilla flokkausaineilla. Mustalipeän sekaan voidaan myös puhalttaa ilmaa, jolloin suopapartikkeleihin kiinnittyneet ilmakuplat pienentävät suopapartikkelien tiheyttä ja kasvattavat siten nousunopeutta. Syötettävän ilman optimaalinen määrä on



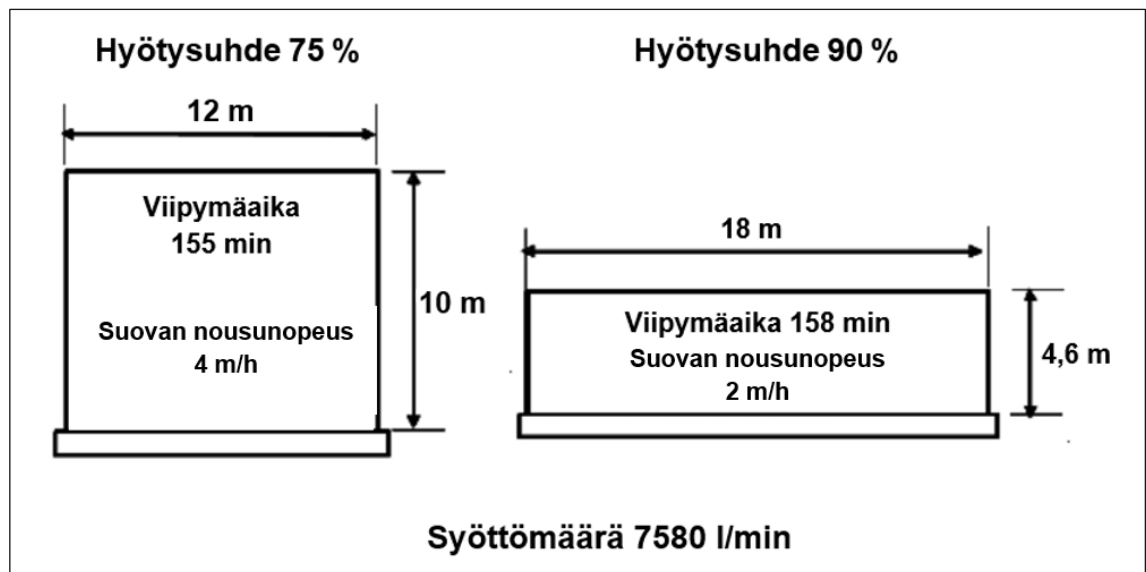
tilavuusvirtauksien suhteessa 1:150. Haihduuttamolle syötettävässä mustalipeässä (ka 20 %) suovan tyypillinen nousunopeus on 4–8 m/h, kun taas välilipeässä (ka 30 %) nousunopeus on 2–3 m/h. (Tikka 2008, 368.)

Suovan nousunopeuden täytyy olla korkeampi, kuin mustalipeän alaspäin suuntautuvan virtausnopeuden, joka näkyy myös kuviossa 6. Yhteys säiliöiden muotoilun ja nousunopeuden välillä nähdään yhtälöstä (2)

$$v_{suopa} > v_{mustalipeä}$$

$$v_{mustalipeä} = \frac{V}{A} \quad (2)$$

jossa  $V$  on mustalipeän tilavuusvirta,  $A$  on säiliön pinta-ala ja  $v$  on nopeus. Yhtälöstä (2) huomataan, että matalat säiliöt ovat suovan erotukseen parempia, koska niissä nousumatka pinnalle on lyhyempi, kuten kuviossa 7. (Tikka 2008, 369.)



KUVIO 7. Yhtä tilavien säiliöiden muodon vaikutus suovan eroamiseen (Tikka 2008, 369 muokattu.)

Suovan erottumiselle on tärkeää, että mustalipeän virtaus säiliöön olisi tasainen. Lisäksi on tärkeää seurata, että mahdollisimman vähän mustalipeää joutuisi suopasäiliöihin. Seuranta tapahtuu yleensä suoparännissä olevan lämpötilamittarin avulla, koska mustalipeän lämpötila on korkeampi kuin suovan. Käytössä voi olla myös erilaisia kameroita ja johtokyvyn mittauksia.

Suovan mukana kulkeutuu kuitenkin aina hieman mustalipeää suopasäiliöön.  
(Tikka 2008, 369.)

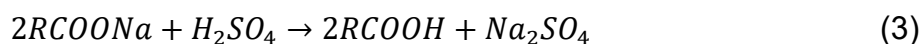
#### 4.2.2 Suovan käsittely

Suovan mukana suopasäiliöön tullut mustalipeä pyritään poistamaan mahdollisimman tarkasti, koska se lisää palstoituksessa hapon kulutusta merkittävästi. Yleisimmin painavamman mustalipeän annetaan laskeutua säiliön pohjalle, josta se pumpataan pois jaksoittain. Suopa taas poistetaan ylempää. Ehtona on, että laskeutumisaika on riittävä, vähintään kahdeksan tuntia. Erotusta voidaan parantaa pyörivä haralla ja lisäksi tasaussäiliöitä voi olla useita peräkkäin, jolloin varmistetaan suovan vähäinen mustalipeäpitoisuus. Mustalipeän lisäksi suovassa on myös muita epäpuhtauksia, kuten ligniiniä, kalsiumia, sekä kuituja. Yleisesti hapotukseen mennessä suovan pitäisi sisältää:

- mäntyöljyä > 50 %
- ligniiniä < 2 %
- kalsiumia < 0,3 %
- mustalipeää (loput). (Tikka 2008, 372.)

#### 4.2.3 Hapotus

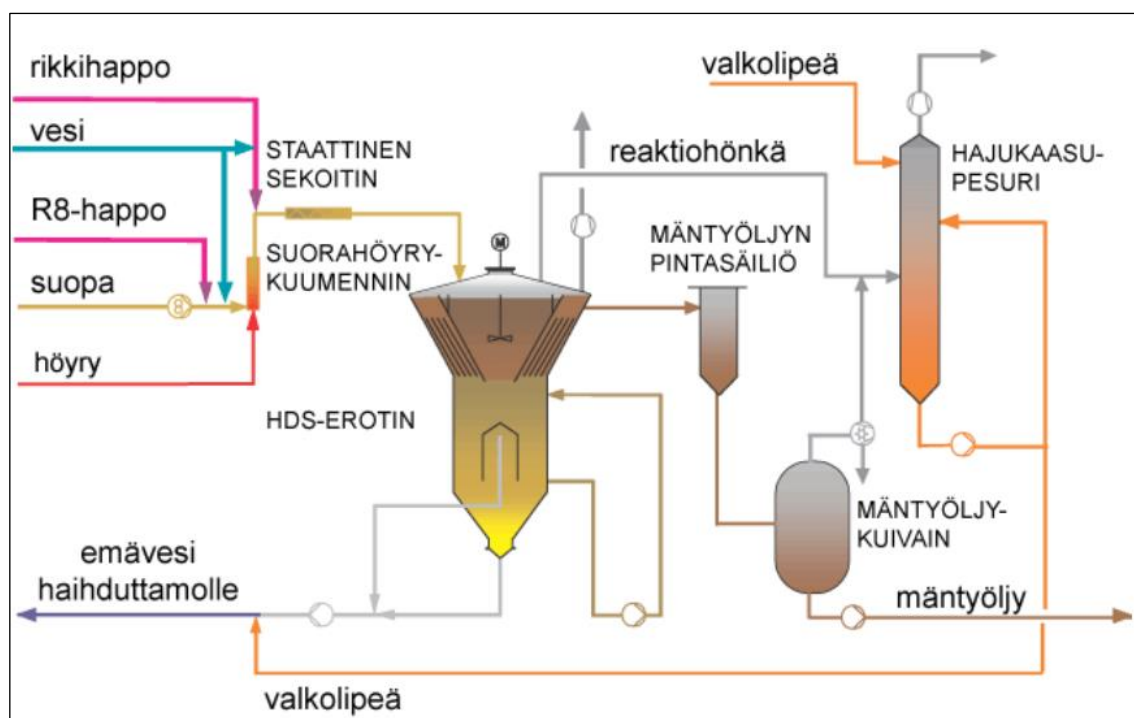
Mäntyöljyn hapotus tapahtuu 95–98 °C:n lämpötilassa joko yksi- tai kaksivaiheisena. Hapotuksessa suovan pH lasketaan 3–5:een rikki- tai jäterikkihapon avulla, jolloin rasva- ja hartsisaippuat palautuvat happomuotoon yhtälön (3) mukaisesti



jossa 2RCOONa on suopa, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on rikkihappo, 2RCOOH on raakamäntyöljy ja Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on natriumsulfaatti. (Tikka 2008, 371.)

#### 4.2.4 HDS-keittäjä

Perinteisesti itse mäntyöljykeittäjä on neljä vaihetta: suovan lämmitys, hapotus, mäntyöljyn erotus ligniinistä, emävedestä ja kalsiumista, sekä mäntyöljyn kuivaus. Kuviossa 8. näkyvässä jatkuvatoimisessa HDS-keittäjässä (Hydrodynamic Separation) suopa lämmitetään ensin suora höyrykuumentimellä. Sen jälkeen suopa, laimennusvesi ja rikkihappo syötetään reaktioputkeen ja ne sekoittuvat staattisessa sekoittimessa. Sieltä seos menee HDS:n sisäkartiioon, joka toimii reaktorina. Reaktorissa on sekoitin, joka estää seoksen erottumisen. Viipymäaika siellä on noin 15–25 minuuttia. Hapetusreaktio menee reaktorissa loppuun ja sen jälkeen seos virtaa mäntyöljy- ja emävesifaasien rajapinnan alapuolelle. (Niiranen 2015a, 3–5.)

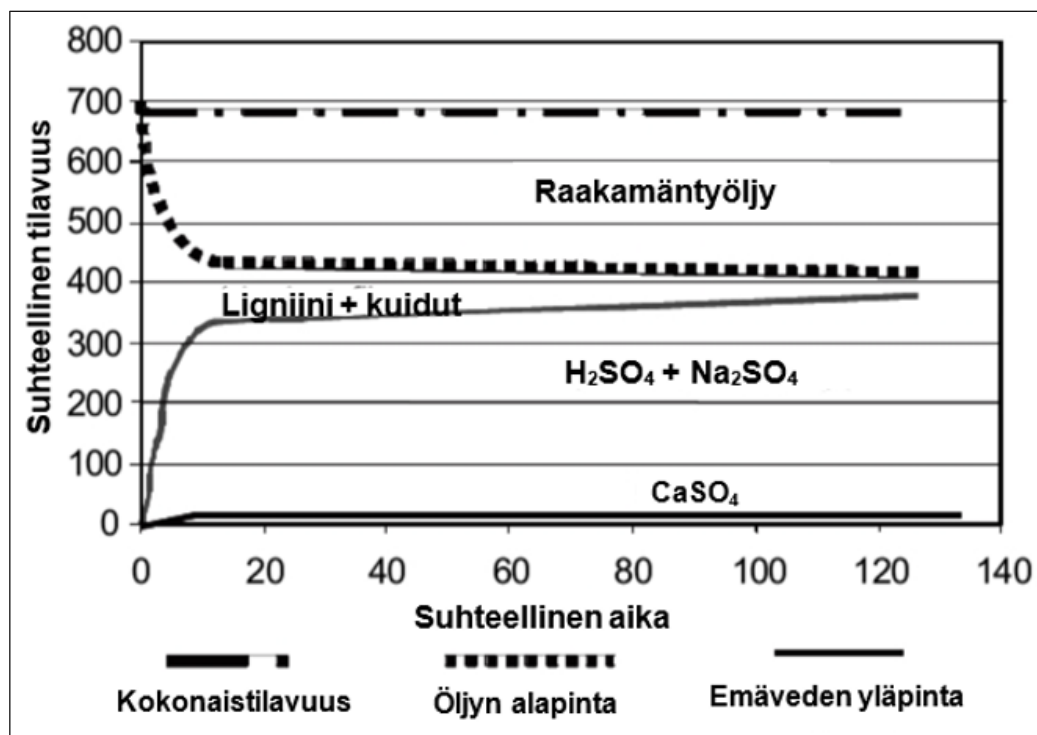


KUVIO 8. HDS-keittäjä (Knowpulp 2020f.)

Muodostunut raakamäntyöljy nousee päällimmäiseksi kerrokseksi, koska sen tiheys on pienin, noin  $0,85 \text{ g/cm}^3$ . Kuitujen, kipsin, ligniinin ja pienten emävesipisaroiden hienoerotus tapahtuu lamelliosassa ja mäntyöljy poistuu ylijooksuna. Tämän jälkeen raakamäntyöljy pumpataan mäntyöljyn kuivaimeen. HDS-erottimesta poistuvan mäntyöljyn lämpötila on noin  $85\text{--}90 \text{ }^\circ\text{C}$  ja vesipitoisuus on noin  $1,5\text{--}3 \%$ . Tyhjäkuivauksessa mäntyöljyn vesipitoisuus saadaan alle  $1 \%$ :iin ja sen lämpötila laskee noin  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  haihdutettua

vesiprosenttiyksikköä kohti. Kuivaimen jälkeen mäntyöljy jäähdytetään noin 60–70 °C:een jäähdyttimessä, jonka jälkeen se pumpataan varastosäiliöön. HDS-reaktorissa ja kuivaimessa syntyneet rikkivetykaasut ( $H_2S$ ) imetään hajukaasupesuriin, missä ne absorboidaan sumuna syötettävään valkolipeään. Emäveden neutralointilipeä otetaan hajukaasupesurilta. (Niiranen 2015a, 4–5.)

Muodostunut emävesi on natriumsulfaatin vesiseos ( $H_2SO_4+Na_2SO_4$ ) ja sen tiheys on noin  $1,12 \text{ g/cm}^3$ . Palstoituksessa suovassa ollut ligniini koaguloituu mäntyöljy- ja emävesikerroksen väliin. Suovassa ollut kalsium on kalsiumsulfaatin ( $CaSO_4$ ) muodossa, jota sanotaan myös kipsifaasiksi ja se laskeutuu alimmaiseksi kuvion 9. mukaisesti. (Tikka 2008, 373.)



KUVIO 9. Kerrosten muodostuminen mäntyöljyn dekantoinnissa (Tikka 2008, 373, muokattu.)

Emävesi, ligniini ja kipsifaasit pumpataan pois HDS:n ala- ja keskiosasta haihduttamolle takaisin kiertoon. Lisäksi emävettä poistetaan säännöllisesti sekvenssillä HDS:n sisäsynteristä, koska silloin pääosa ligniinistä poistuu. Kirkasta emävettä kierrätetään erillisellä pumpulla pohjasta erotuskerrokseen, jotta ligniinkerros pysyy löysänä, eikä siten aiheuttaisi tukoksia. (Knowpulp 2020f.)


Valmiin raakamäntyöljyn ihanteellinen varastointilämpötila on noin 50 °C, mutta jos säilytysaika on lyhyt, niin lämpötila voi olla 60–65 °C. Liian korkeassa lämpötilassa rasvahapot ja rasva-alkoholit esteröityvät ja sen seurauksena happoluku laskee. Lisäksi mäntyöljysäiliön pohjalle eroaa emänettä, joka tulisi poistaa säännöllisesti. (Knowpulp 2020f.)

### 4.3 Laatu

Raakamäntyöljyn laadun mittarina käytetään happolukua (mgKOH/g). Happoluku kertoo, kuinka monta milligrammaa kaliumhydroksidia (KOH) tarvitaan neutraloimaan yksi gramma näytettä, tässä tapauksessa mäntyöljyä. Mitä suurempi happoluku on, sitä parempilaatuista mäntyöljy on. Happoluvun tavoite havumassoilla on yli 145 ja koivu/mänty sekoituksella yli 130. Lisäksi mäntyöljystä voidaan seurata vesipitoisuutta (< 1,0 %), pH:ta (4,7–5) ja suopalukua (< 1,5 mg KOH/g). (Niiranen 2015b, 1.)

Kuviossa 10. näkyy puulajin vaikutus mäntyöljyn koostumukseen. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa kasvaneen männyn mäntyöljysaanto on 40–50 kg sellutonnilta, kun taas Etelä-Suomessa kasvaneen männyn mäntyöljysaanto on 20–30 kg/t. Lisäksi uuteaineet vähenevät puun ja hakkeen varastoinnin aikana paljon. (Isotalo 2004, 106.)

	Mänty	Kuusi	Koivu	Mänty/Koivu 50/50
Happoluku, mg KOH/g	160	140	100	130
Saippuoitumatonta ainesta, %	7	10	30	15
Hartsihappoja, %	40	25	0	25
Rasvahappoja, %	53	65	70	60



KUVIO 10. Puulajin vaikutus mäntyöljyn laatuun (Knowpulp 2020f.)

#### 4.4 Lopputuotteet

Raakamäntyöljyä käytetään sellaisenaan erittäin vähän, joten yleensä se tislataan seuraaviin pääfraktioihin:

- mäntyhartsihappo,
- eri mäntyrasvahappojakeet,
- tislattu mäntyöljy ja
- mäntypiki.

Nämä voidaan taas jalostaa edelleen erittäin moniin eri käyttötarkoituksiin. Mäntyhartsihapoista voidaan jalostaa esimerkiksi kaivos- ja metalliteollisuuskemikaaleja. Mäntyrasvahappoja voidaan jalostaa saippuiksi, puhdistus- ja liima-aineiksi. Tislatusista mäntyöljystä voidaan valmistaa muun muassa biopolttoainetta ja mäntypikeä käytetään vielä pääasiallisesti polttoaineena, mutta sillä on muitakin käyttökohteita. Uusia innovaatioita kehitetään jatkuvasti ja mäntyöljyjalosteita onkin hyödynnetty muun muassa uusiutuvien muovien valmistuksessa. Lisäksi esimerkiksi veren kolesterolitasoa laskevia steroleja voidaan valmistaa tästä arvokkaasta luonnonöljystä. (Blom 2020.; Pohjakallio 2015.; Tikka 2008, 379.)

## 5 MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖN PROSESSIMUUTOKSET

Stora Enson Imatran tehtaiden Kaukopään sellutehtaan haihduttamolle ja mäntyöljykeittämölle tehtiin vuonna 2019 prosessimuutoksia, joilla haluttiin parantaa mäntyöljyn laatua, sekä tuotannon toimivuutta. Tässä luvussa käydään läpi tehdyt muutokset, niiden syyt, käyttöönottoon liittyvät asiat, sekä muutosten vaikutuksia.

### 5.1 Haihduttamolle tuleva emävesi

Mäntyöljykeittämölle oli tehty uusi emävesilinja, jonka kautta HDS-reaktorista poistettava emävesi menee haihduttamo 6:n 1-yksiköihin menevään mustalipeälinjaan. Muutoksen tarkoituksena oli vähentää 2-yksikön likaantumista ja pesuja, jotka rajoittavat haihdutuskapasiteettia ja laimentavat säiliöissä olevaa mustalipeää.

#### 5.1.1 Lämpöpintojen kerrostumat

Haihduttamon yleisin tehoa laskeva tekijä on likaiset lämpöpinnat. Likaantumista tapahtuu eniten haihduttamon viimeisimmissä yksiköissä, koska lämpötilat ovat niissä korkeat ja lipeä on vahvinta. Likaantuminen havaitaan haihdutinyksikön TD:n (Temperature Difference) noususta, joka on yksiköstä poistuvan lauhteen ja lähtevän välilipeän lämpötilojen erotus. Likaantuminen siis heikentää lämpöenergian siirtymistä yksikön lamellien lämpöpinnoilta lipeään. (Isotalo 2004, 154.)

Haihduttimien lämpöpinnoille syntyneet kerrostumat voidaan jakaa laadultaan kolmeen pääryhmään: orgaanisiin, helposti liukeneviin epäorgaanisiin, sekä vaikeasti liukeneviin epäorgaanisiin kerrostumiin. Orgaanisia kerrostumia muodostuu esimerkiksi ligniinistä ja ne pystytään pesemään tehokkaasti laihalipeällä tai vedellä. Helposti liukenevia epäorgaanisia kerrostumia muodostuu suoloista, kuten natriumkarbonaatista ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sekä natriumsulfaatista ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ja yleensä myös niiden aiheuttamat kerrostumat ovat pestävissä laihalipeällä tai vedellä. Natriumsulfaattia kutsutaan myös

burkeittiksi. Kalsium- ja silikaattikerrostumat taas ovat vaikeasti liukenevia ja niiden poistamiseen tarvitaan erilaisia kemikaaleja, jolloin haihdutinyksikölle joudutaan tekemään esimerkiksi happopesu. (Isotalo 2004, 154.)

### 5.1.2 Haihdutinyksiköiden likaantuminen

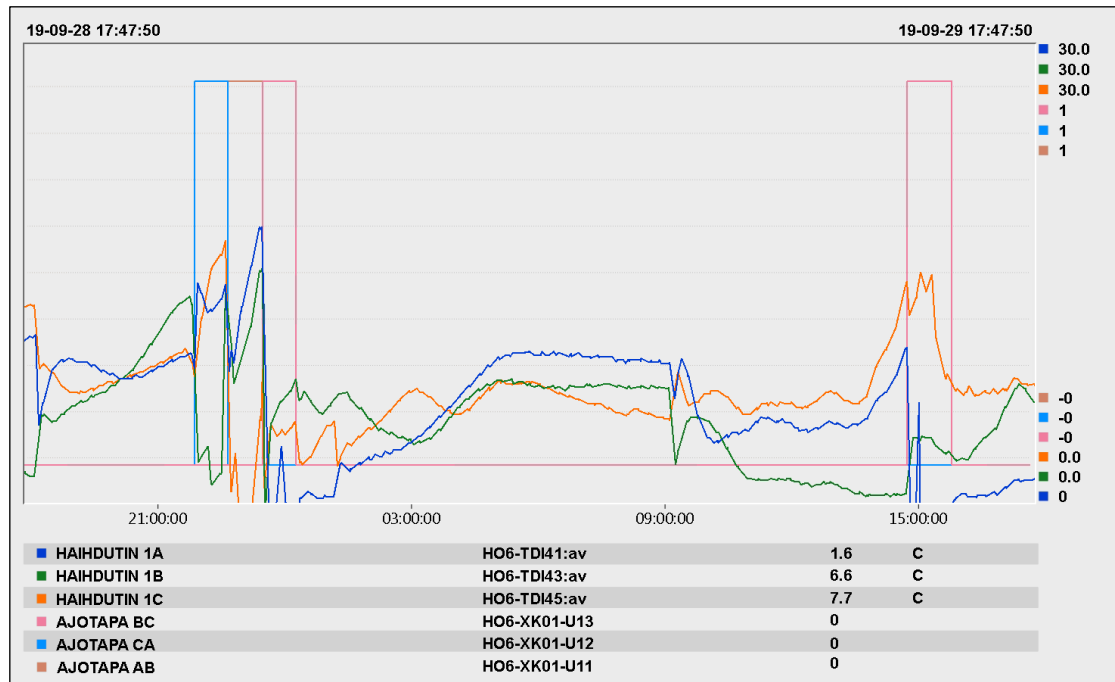
Haihduttamalla oli ollut ongelmana 2-haihdutinyksikön likaantuminen. Likaantumisen seurauksena yksikköä oli jouduttu pesemään noin kuukauden välein. Pesu pienentää hetkellisesti haihdutuskapasiteettia, sekä laimentaa mustalipeää, koska pesuvedet menevät lipeäsäiliöihin. Kuvassa 11. on esimerkki likaantuneista ja pestyistä lämmönsiirtopinnoista.



KUVA 11. Likaantunut ja pesty mustalipeähaihduttimen lämmönsiirtopinta (Knowpulp 2020g.)

Haihduttamalla 1-yksiköitä on peräkkäin kolme kappaletta ja normaalisti ne peseytyvät vaihtamalla ajosekvenssiä tarpeeksi usein. Ajosekvenssin vaihtaminen tarkoittaa sitä, että yksiköiden järjestystä vaihdetaan, jolloin 2-yksiköstä tuleva mustalipeä meneekin esimerkiksi 1A-yksikön sijaan ensin 1C-yksikköön. Jos yksikkö on likaantunut pahoin, se voidaan pestä ajon aikana laihalipeällä tai toisiolauhteella, pesusekvenssin avulla. Kuviossa 12. on 24 tunnin pituinen trendi syyskuulta 2019, jossa näkyy 1-yksiköiden jyrkästi nousseet TD:t, sekä ajosekvenssi, jonka mukaan yksiköitä on jouduttu pesemään peräjälkeen. Ensimmäisenä on esimerkiksi pesty 1B-yksikkö, koska vain A- ja C-yksiköt ovat olleet käytössä. 2-yksikön pesu taas vaatii koko haihduttamon tuotantokatkon. (Niiranen 2015c, 1.)





KUVIO 12. HO6 1-yksiköiden likaantuminen ja pesu (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020a.)

Likaantumisen syyksi oli epäilty emävedessä olevaa kalsiumia, joka muodostaisi kerrostumaa 2-yksikkön lämmönsiirtopinnoille, koska lämpötila on siihen sopiva (noin 110 °C). Kalsiumin saostuminen muuttaa myös emäveden koostumusta, jolloin myös 1-yksiköt likaantuisivat helposti.

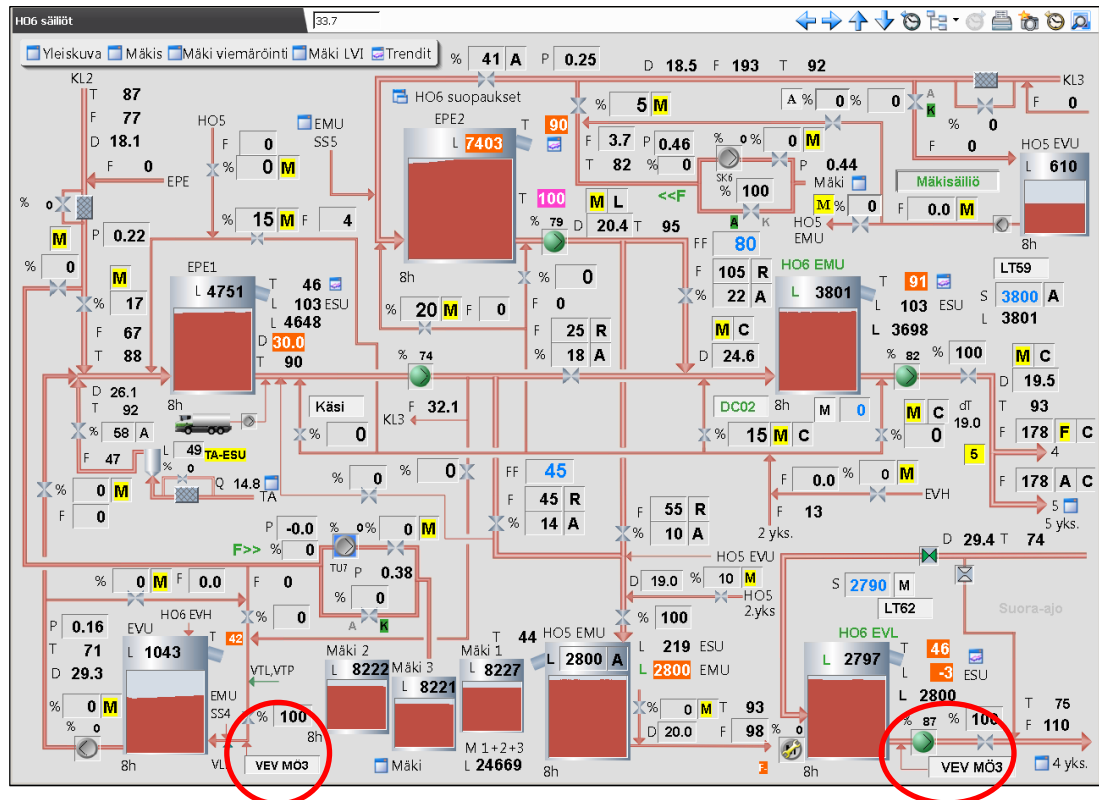
Ruotsalaisen Chalmersin Teknillisen yliopiston tutkimuksessa oli havaittu, että emävesi estää kerrostumien syntymistä mustalipeähaihduttimien lämmönsiirtopinnoille joissakin olosuhteissa, joita ei kuitenkaan vielä tarkasti tiedetä. Tutkimuksessa kerrottiin, että inhibiittorin vaikutukset ovat riippuvaisia emäveden määrästä, suolan pitoisuudesta, mustalipeästä, sekä siitä lisätäänkö se juuri ennen kiteytymisen alkamista. (Karlsson 2020, 39.)

### 5.1.3 Vanha emävesilinja

HDS-reaktorin alaosasta poistettava emäveden, ligniinin ja kipsin sekoitus oli aikaisemmin pumpattu haihduttamon välilipeäsäiliön syöttöpumpun imupuolelle tai vaihtoehtoisesti vuotolipeäsäiliöön menevään lipeälinjaan. Välilipeäsäiliöstä emävesi oli pumpattu mustalipeän mukana 4-haihdutinyksikköön. Kuviossa 13.

molemmat ”VEV MÖ3” vaihtoehdot on merkitty punaisilla ympyröillä.

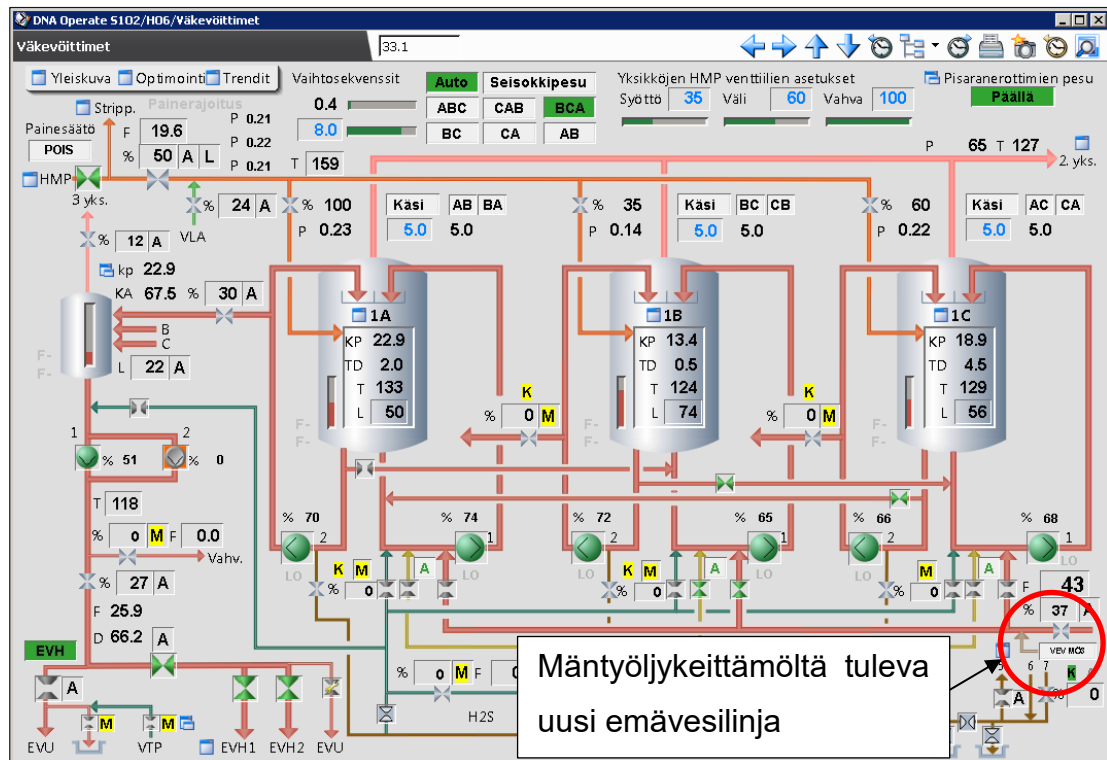
Vuotolipeäsäiliöstä emävesi oli pumpattu mustalipeän mukana EPE1-säiliön kautta EMU-säiliöön ja sieltä edelleen haihduttamolle valinnan mukaan, joko 4- tai 5-haihdutinyksikköön.



KUVIO 13. Haihduttamo 6 säiliöt (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020a, muokattu.)

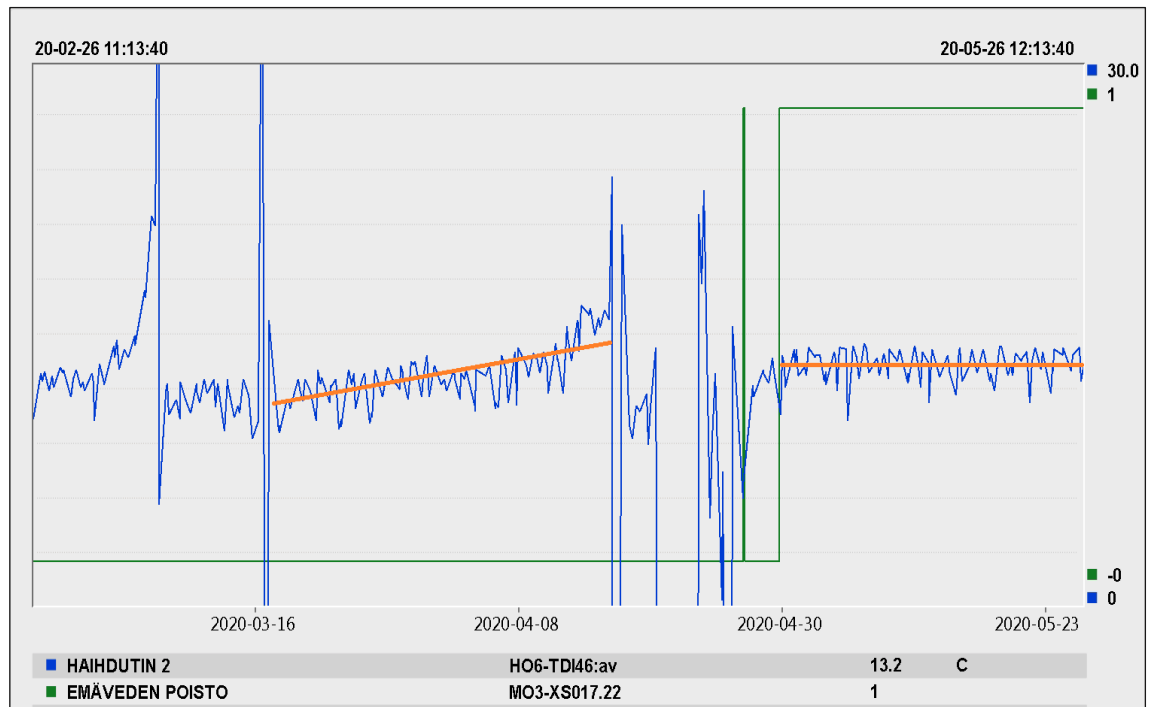
#### 5.1.4 Uusi emävesilinja

Mäntyöljykeittämölle tehtiin uusi emävesilinja, joka yhtyy 1-haihdutinyksiköihin menevään mustalipeälinjaan, jolloin emävesi menee aina ensimmäiseen ja laihimpaan yksikköön. Kuviossa 14. uuden emävesilinjan ja 1-yksiköiden mustalipeälinjan yhdiskohta on merkitty punaisella ympyrällä ja tässä tapauksessa emävesi menee ensimmäisenä 1B-yksikköön.



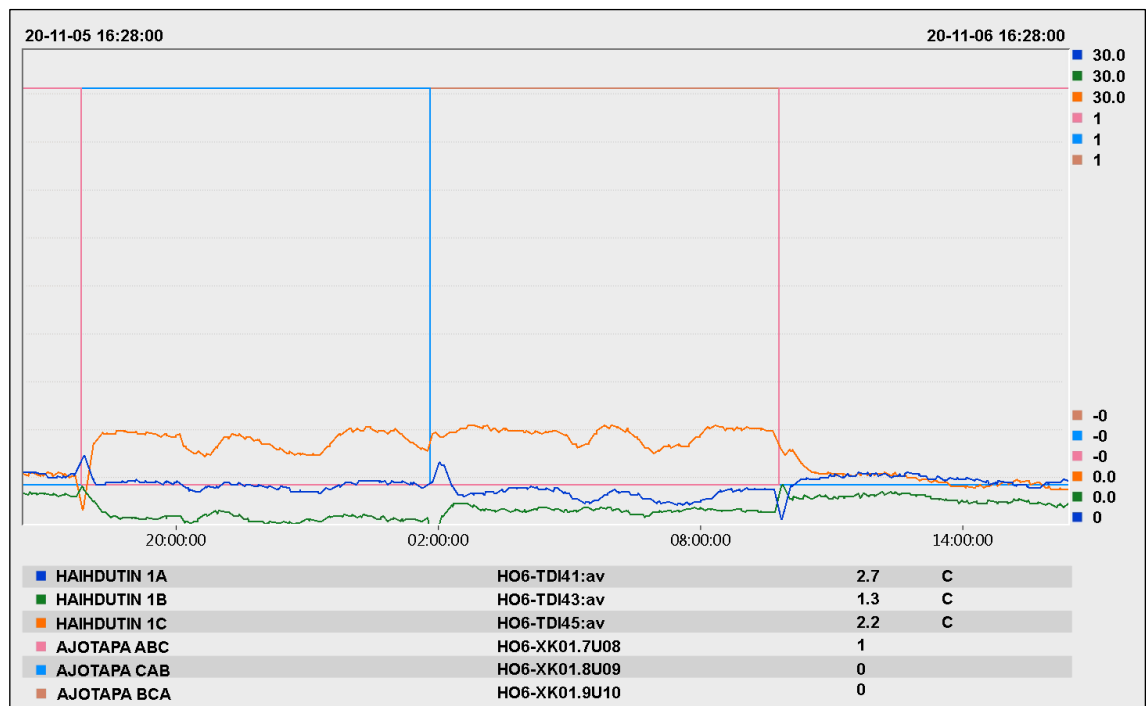
KUVIO 14. Haihduttamo 6:n 1-yksiköt ja uusi emävesilinja (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020a, muokattu.)

Uusi emävesilinja otettiin käyttöön 30.4.2020 ja se on ollut käytössä siitä lähtien aina kun se on ollut mahdollista. Kuviossa 15. on kolmen kuukauden pituinen trendi, josta nähdään, että 2-yksikön TD ei ole enää noussut uuden emävesilinjan käyttöönoton jälkeen. Emäveden 2-yksikköä likaava vaikutus on siis hävinnyt.



KUVIO 15. HO6 2-yksikön TD ennen ja jälkeen uuden emävesilinjan käyttöönottoa (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020a, muokattu.)

Uuden emävesilinjan käyttöönoton jälkeen huomattiin, että myös 1-yksiköiden TD:t eivät nouse. Kuviossa 16. on 24 tunnin pituinen trendi, missä näkyy 1-yksiköiden TD:t ja ajosekvenssit marraskuussa 2020. Normaalissa ajotilanteessa likaantumisen takia ainoastaan 1C-yksikkö on jouduttu pesemään vain kerran yli kuuden kuukauden ajojakson aikana, mutta muuten ajosekvenssin vaihto on riittänyt lämpöpintojen puhdistamiseen. Kyseisenä aikana emäveden poistolinja oli kuitenkin tukkeutunut ja emäveden virtauksessa haihduttamolle oli ollut katkoja, joka voi selittää likaantumista.



KUVIO 16. HO6 1-yksiköiden TD:t ja ajosekvenssi (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020a.)

## 5.2 Suovan johtokyvyn mittaus

Vuonna 2019 mäntyöljykeittämölle lisättiin induktiivinen on-line johtokykymittari suovan syöttösäiliöstä HDS-reaktoriin menevään suopalinjaan. Elektrolyyttisen johtokyvyn mittauksella haluttiin varmistaa, että suovan seassa ei ole mustalipeää, joka häiritsisi HDS:n prosessia ja lisäisi rikkihapon kulutusta. Tässä opinnäytetyössä johtokykymittari otettiin käyttöön, eli johtokykymittaus lisättiin ohjausjärjestelmään Valmet DNA:han, sille luotiin historiatrendin keräys ja toimintakuvaus, valittiin mitta-alue, sekä asetettiin ylähälytysraja. Lisäksi seurattiin, onko mittaus toiminut halutulla tavalla ja onko siitä ollut hyötyä.

### 5.2.1 Johtokykymittari

Johtokyky (konduktanssi) on vastuksen, eli resistanssin käänteisluku, jonka yksikkö on esimerkiksi S/m (siemensiä/metri). Johtokykymittaus kuvaa kaikkien liuoksessa olevien ionien vaikutusta sen johtokykyyn, joten se on epäspesifinen analyysi. Nykyään on-line-johtokykymittareita käytetään prosessiteollisuudessa paljon ja niillä voidaan mitata esimerkiksi kattilavesien pitoisuuksia. (Knowpulp 2020h.)

Toimivassa johtokyvyn mittauspiirissä täytyy olla vähintään johtokykyanturi, vahvistin, eli lähetin, sekä kaapeli. Käyttöön otettu induktiivinen johtokykyanturi (toroidi) on kuvassa 2. näkyvä Yokogawa ISC40G. Sen mitta-alue on 0–2000 mS/cm todellisessa prosessilämpötilassa ja sen tarkkuus on 0,5 % + 0,5 uS/cm. Induktiivisessa johtokykyanturissa mittaavat elementit eivät ole suorassa kosketuksessa mitattavan aineen kanssa, vaan ne on suojattu prosessin haitallisilta vaikutuksilta. Vahvistimena on Yokogawan FLXA21-malli. Sen tarkkuus on  $\pm(0,4 \%F.S + 0,3 \mu S/cm)$ . (Inductive (Torodial, Electrodeless) Conductivity Sensor ISC40 n.d.; Johtokyvyn mittaus n.d.)



KUVA 2. Yokogawan ISC40G-johtokykyanturi (Model ISC40G (S) Inductive Conductivity sensor and fittings N.d.)

### 5.2.2 Johtokykymittauksen käyttöönotto

Uusi johtokykymittaus otettiin käyttöön 3.8.2020. Johtokyvyn mitta-alueeksi valittiin 0–250 mS/cm. Tavallisessa ajotilanteessa suovan massavirtauksen keskiarvon ollessa 2,83 kg/s suovan johtokyvyn keskiarvo on 10,3 mS/cm. Marraskuussa 10.11.2020 suovan sekaan meni mustalipeää, joka nähtiin johtokyvyn nousuna. Kuvista 17. nähdään, että johtokyky nousi 50–60 mS/cm:iin, kun suovan seassa oli mustalipeää. Trendissä näkyy myös HDS:lle syötettävän suovan tiheys, jossa näkyy myös selvä muutos. Mitta-alue todettiin toimivaksi ja tämän perusteella johtokyvyn ylähälytysrajaksi asetettiin 40 mS/cm.



KUVIO 17. Suovan johtokyky ja tiheys (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020b.)

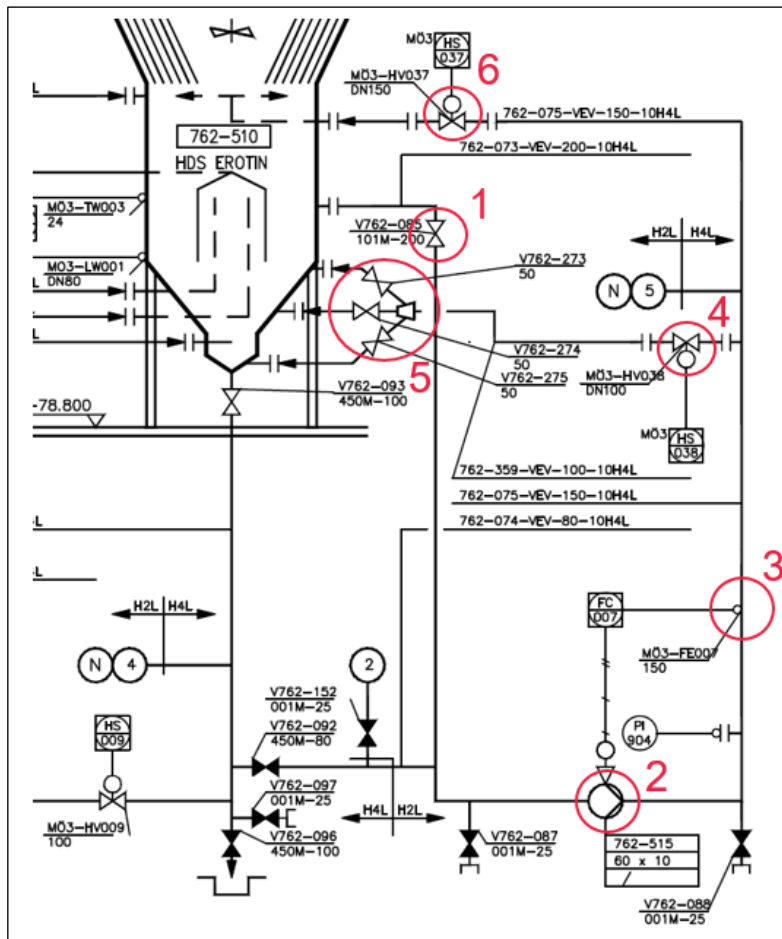
### 5.3 Emäveden kierrätys

HDS-reaktorissa emävettä kierrätetään, jotta erityisesti ligniini pysyisi juoksevana. Silloin ligniini ei muodostaisi jäykkää kerrosta, mikä voisi aiheuttaa tukoksia ja haitata mäntyöljyn erottamista. Mäntyöljykeitämöllä on ollut emäveden kierrätyspumppu, mutta se ei ole ollut käytössä. Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli ottaa emäveden kierrätys käyttöön. Kierrätykselle tehtiin oma kierrätyssekvenssi ja siihen kuuluvien laitteiden toimintakuvaukset päivitettiin. Kierrätyssekvenssiin ja sen asetusarvoihin saatiin malli Stora Enson Sunilan tehtaalta, jossa on lähes samanlainen HDS-keitämö. Kierrätystä testattiin useilla eri koeajoilla.

#### 5.3.1 Kierrätyslaitteisto

Emäveden kierrätyspumpun (kuviossa 16. numero 2) imulinja lähtee HDS-reaktorin keskiosasta ja kierrätyslinjat menevät sekä reaktorin ala-, että yläosaan. Imulinjassa on sulkuventtiili (numero 1). Painelinjassa olevilla ON/OFF -automaattiventtiileillä (numerot 4 ja 6) voidaan valita, halutaanko emävettä

kierrättää ala- vai yläosaan tai molempiin samanaikaisesti. Alaosan kierrätyslinja jakautuu kolmeen osaan kuvion 18. mukaisesti. Lisäksi alakierätyksen haarautumisen jälkeen on kolme käsiventtiiliä (numero 5), joilla virtausta voidaan tarvittaessa kuristaa. Virtausmittaus (numero 3) on kierrätyspumpun painepuolella, ennen jakaantumista ala- ja yläkierrätyslinjoihin. Kierrätyspumpun maksimivirtausmäärä on 60 l/s ja nostokorkeus 10 metriä.



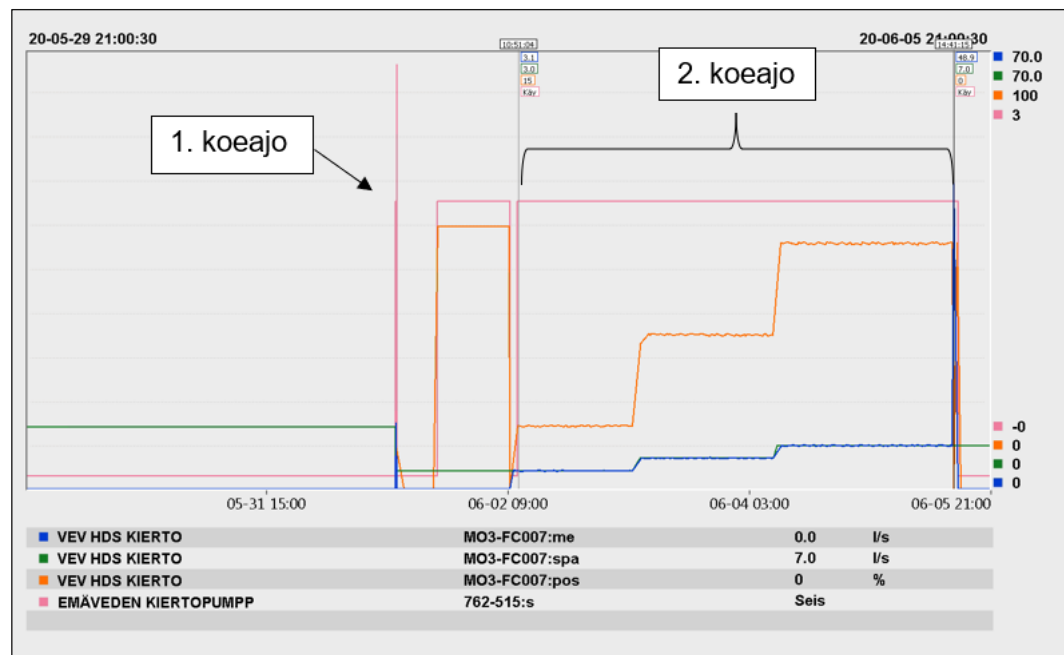
KUVIO 18. HDS-keittimen emäveden kierrätyslaitteisto (MÖ3 Mäntylöjykeittäjä ja säiliöalue PI-kaavio 2009, muokattu.)

### 5.3.2 Emäveden kierrätyksen koeajot

Ensimmäisessä koeajossa 1.6.2020 emävettä kierrätettiin jatkuvasti vain alakierätyksen kautta noin kaksikymmentä minuuttia. Emäveden päivittämättömässä poistosekvenssissä emäveden kierrätyksen virtauksen asetukseksi asetettiin 3 l/s. Pumpun ollessa minimikierroksilla (0 %) ja alakierätyksen käsiventtiilien ollessa täysin auki emäveden virtaus oli kuitenkin noin 6,4 l/s. Koeajo keskeytettiin.



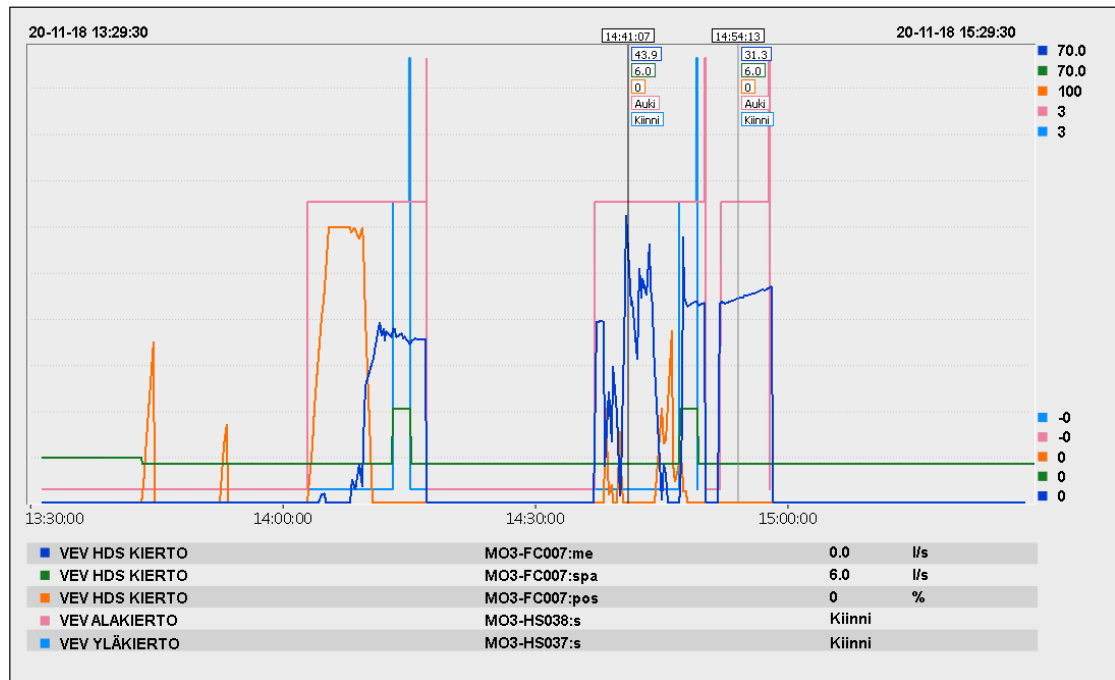
Toinen koeajo järjestettiin 2.–5.6.2020. Ennen koeajoa alakierätyslinjan kolme käsiventtiiliä kuristettiin noin 50 %, jolloin pumpun ollessa minimikiirroksilla emäveden kierrätyksen virtaus oli noin 1,7 l/s. Tällöin pumppu voitiin laittaa automaattille ja virtauksen asetusarvoksi asetettiin 3 l/s, jolloin pumpun ohjaus oli noin 15 %. Vuorokauden jälkeen virtauksen asetusarvo nostettiin 5 l/s, jolloin pumpun ohjaus oli noin 35 %. Vuorokauden jälkeen asetusarvo nostettiin 7 l/s, jolloin pumpun ohjaus oli noin 56 %. Noin kuuden tunnin jälkeen yläkierrätysventtiili avattiin, jolloin virtaus nousi hetkellisesti 48,9 l/s. Pumpun ohjauksen mennessä automaattisesti 0 %:iin virtaus tasaantui 19,5 l/s. Yläkierrätyksen painepuolella ei ole käsiventtiiliä, jolla virtausta voitaisiin kuristaa. Ensimmäisen ja toisen koeajon virtaukset ja pumpun ohjaukset näkyvät kuviossa 19.



KUVIO 19. Emäveden kierrätyspumpun 1. ja 2. koeajo (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020b, muokattu.)

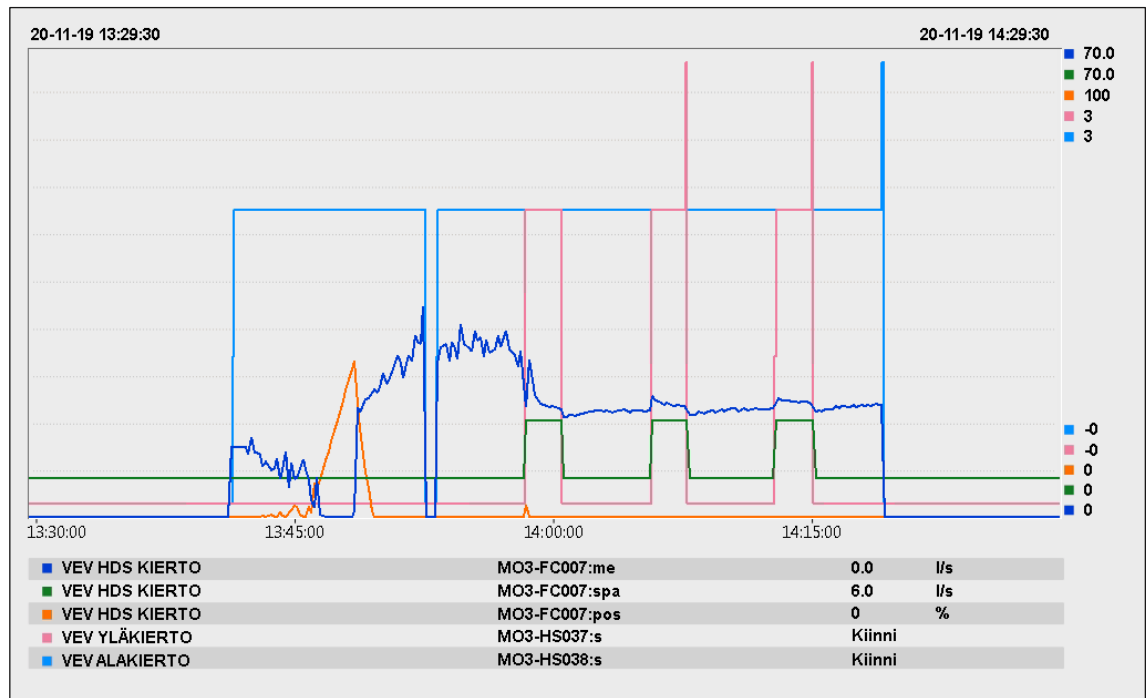
Ennen kolmatta koeajoa yläkierrätysventtiili rajoitettiin mekaanisesti aukeamaan vain 50 %:iin, mäntyöljykeittämölle päivitettiin uudet sekvenssit ja HDS pestiin ja sen linjat puhdistettiin. Lisäksi HDS:n alakartiosta poistettiin kuitua sisältäviä kertymiä ja pieni peltipala. Kolmannessa koeajossa (kuvio 20.), alakierro käsiventtiilien ollessa 50 %, virtaus oli alakierätyksen aikana 25–30 l/s. Se oli

huomattavasti enemmän kuin aikaisemmissa koeajoissa, joten käsiventtiilejä kuristettiin vielä lisää, mutta virtaus pysyi noin 30 l/s ja koeajo keskeytettiin.



KUVIO 20. Emäveden kierrätyspumppun 3. koeajo (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020b.)

Neljännessä koeajossa alakierroin käsiventtiilit avattiin ensiksi 100 % auki. Pumpun ohjauksen ollessa 0 % virtaus oli noin 21–23 l/s ja virtaus heilahteli paljon. Käsiventtiilit kuristettiin tämän jälkeen takaisin 50 %:iin. Emäveden kierrätyspumppun taajuusmuuttajan alue laskettiin (10–70) Hz:stä (10–50) Hz:iin, jolloin pumppu pyöri hitaammin. Tämän lisäksi pumppun taajuusmuuttajan P-vahvistusta laskettiin 0,75:stä 0,5:een, jolloin pumppu reagoi automaattilla ollessaan rauhallisemmin. Myös virtausmittarin kunto tarkastettiin. Kierrätyssekvenssiä testattiin vielä pidemmän aikaa, jolloin virtaus rauhoittui selkeästi noin 16,5 l/s kuvion 21. mukaisesti. Emäveden kierrätyksen aikaisempia koeajoja korkeampi virtaus voi johtua tehdyistä pesuista, jolloin esimerkiksi tukokset ovat voineet hävitä. Toinen vaihtoehto on, että magneettisen virtausmittauksen, eli mankkuputkeen, on muodostunut kerrostumaa, jolloin virtaus olisi siinä kohdassa korkeampi. Tämän tarkistaminen vaatisi erillisen seisokin.



KUVIO 21. Emäveden kierrätyspumpun 4. koeajo (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020b.)

### 5.3.3 Emäveden kierrätyssekvenssi

Mäntyöljykeittämölle tehtiin oma kierrätyssekvenssi MO3-XJ007 VEVAALAKIERTO EMÄVEDEN KIERRÄTYSSEKVENSSI. Sekvenssissä kierrätyspumppu kierrättää emävedettä alakierätyksventtiiliin kautta jatkuvasti halutulla virtauksella. Yläkiertoventtiili avautuu asetetun ajan välein ja on auki tietyn aikaa. Myös yläkierron aikainen virtaus asetetaan valintalaatikosta. Kuvioista 21. nähdään vihreällä viivalla, kun sekvenssi vaihtaa virtauksen asetusarvoja yläkierrätysventtiiliin avautuessa ja sulkeutuessa. Kierrätyksen alustavat asetusarvot ovat: alakierätyksen virtaus 6 l/s ja odotusaika 10 minuuttia, yläkierrätyksen virtaus 14,5 l/s ja odotusaika 2 minuuttia.

### 5.4 Rikkihappo palstoitukseen

Mäntyöljykeittämöllä rikkihappoa käytetään suovan hapotuksessa. Rikkihapon PID-säädin ohjaa rikkihappopumpun pyörimisnopeutta ja siten rikkihapon virtausta taajuusmuuttajan avulla. Säätimellä on L- ja R-asetusarvot. R-tilassa säädin saa arvonsa yhtälöstä (4)

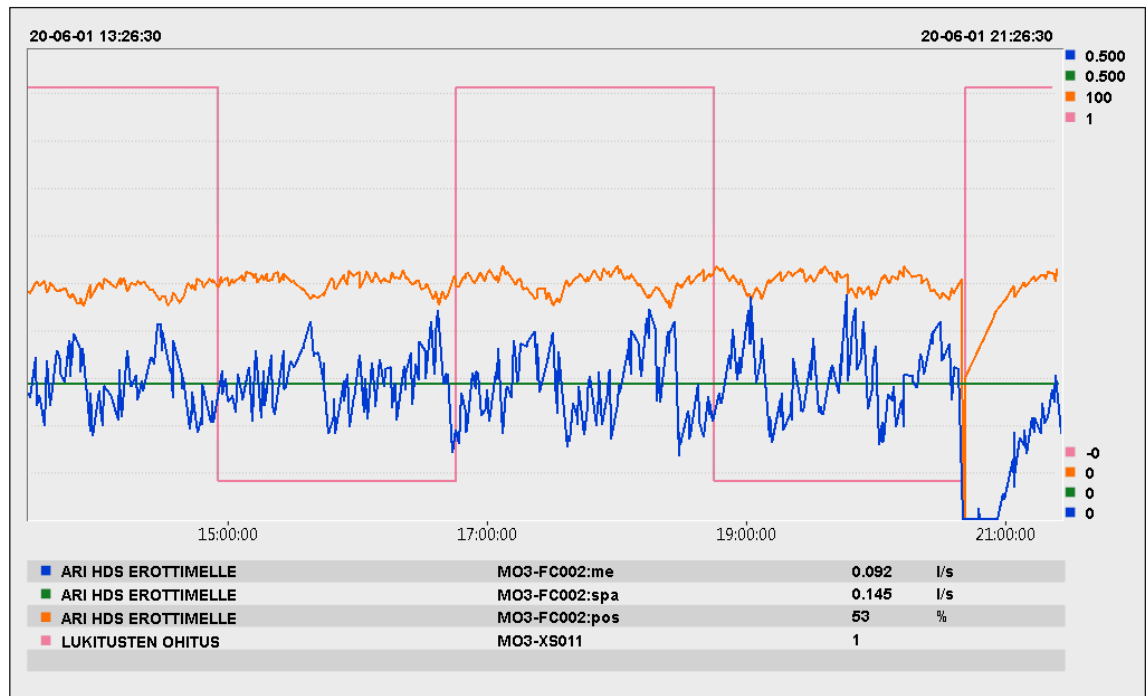
$$RSP = a \cdot b \quad (4)$$

jossa  $a$  on MO3-QC001 VEV HAIHDUTTAMO pH säätimen lähtö ja  $b$  on aseteltava kerroin MO3-FC002A SUHDEASETTELU (0–1). (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020b.)

Säätimen ollessa A/R-tilassa, L-asetusarvo seuraa R-asetusarvoa, jolloin asetuservo muuttuu poistettavan emäveden pH:n mukaisesti. Säädintä on kuitenkin pidetty A/L-tilassa, koska on ollut kokemuksia, että se ei ole toimiva. A/L-tilassa pumppu pyrkii pitämään vain operaattorin asettaman L-asetusarvon. Tällöin palstoitukseen menevän rikkihapon määrä ei usein ole optimaalinen, koska operaattori ei pysty seuraamaan prosessia tarpeeksi tarkasti, jolloin virtausta pidetään varmuuden vuoksi tarpeettoman suurena. Se lisää rikkihapon kulutusta ja voi aiheuttaa muun muassa korroosiota laitteissa. (Valmet DNA -automaatiojärjestelmä 2020b.)

#### 5.4.1 Rikkihapon virtauksen heilahtelu

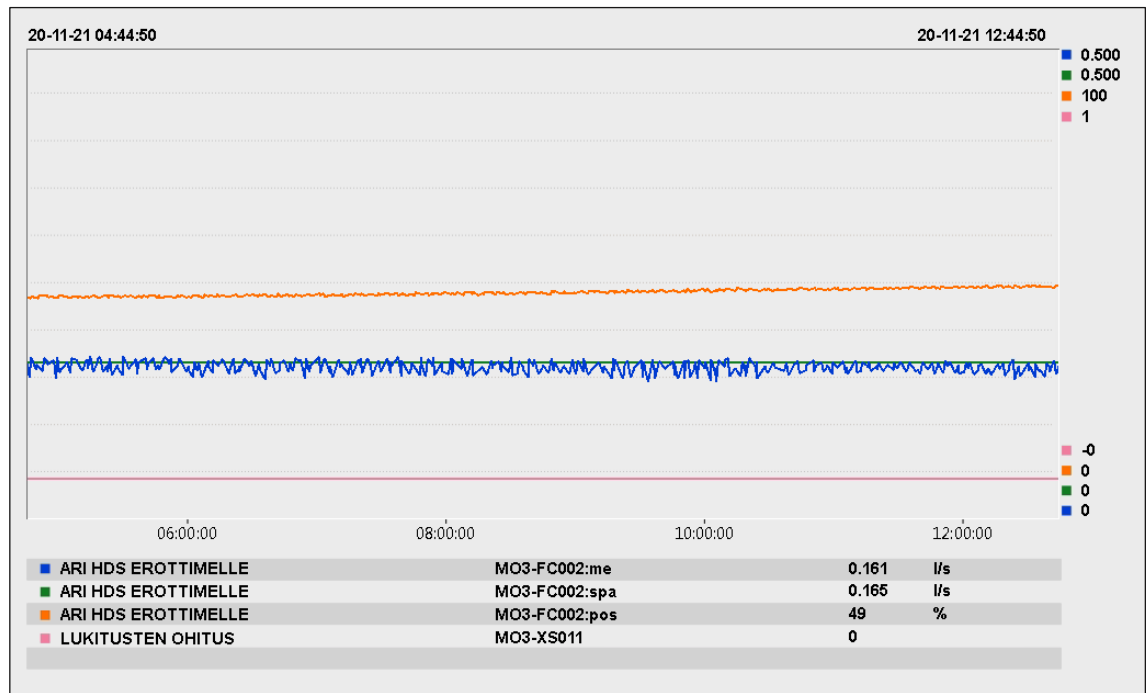
Mäntyöljykeittämöllä oli ollut jo pitkään paljon tuotantokatkoja, jotka ovat johtuneet rikkihapon virtauksen heilahteluista. Rikkihapon virtauksen alaraja on 0,070 l/s ja se pysäyttää suopapumpun, joka pumppaa suopaa HDS-reaktorille. Rikkihapon virtauksen lasku alle 0,07 l/s pysäyttää siis suopapumpun ja sen pysähtyminen aiheuttaa tuotantokatkon HDS:lle. Mäntyöljykeittämölle on aikaisemmin tehty ”lukitusten ohitus” -valinta, joka ohittaa kaikki kriittiset lukitukset 120 minuutin ajaksi. Valintaa on käytetty paljon, koska katkoja olisi muuten tullut eri syistä useita päivän aikana. Lukitusten ohitus -valinnan käyttö voi kuitenkin aiheuttaa muun muassa laiterikkoja, koska lukitusten alkuperäinen tarkoitus on suojata prosessilaitteita esimerkiksi liian korkealta paineelta. Kuviossa 22. on kahdeksan tunnin pituinen trendi, josta nähdään, että virtaus on ollut epästabiili ja heilahdus on aiheuttanut tuotantokatkon, kun lukitusten ohitus -valinta ei ole ollut päällä.



KUVIO 22. Rikkihapon virtaus ennen muutoksia (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020b.)

#### 5.4.2 Rikkihappopumpun PID-säätimen parametrit

Elokuussa 2020 rikkihappovirtauksen PID-säätimen parametrejä viritettiin pienentämällä P-termin vahvistusta, joka laskettiin 0,15:sta. Silloin säädön nopeus laskee ja stabiilisuus kasvaa, eli muutos pienentää maksimipoikkeamia ja kasvattaa säädön asettumisaikaa. Kuviossa 23. on kahdeksan tunnin pituinen trendi, josta nähdään, että muutoksen jälkeen virtauksen maksimipoikkeamat ovat pienentyneet ja virtaus on selkeästi stabiilimpi.



KUVIO 23. Rikkihapon virtaus muutosten jälkeen (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020b.)

Kuviossa 24. on rikkihapon virtauksen heilahduksesta johtuneiden tuotantokatkojen lukumäärät ja siitä nähdään, että katkot ovat vähentyneet. Katkojen todellista määrää ei kuitenkaan pystytä sanomaan, koska kaikista katkoista ei ole kirjattu syytä AHS-järjestelmään.

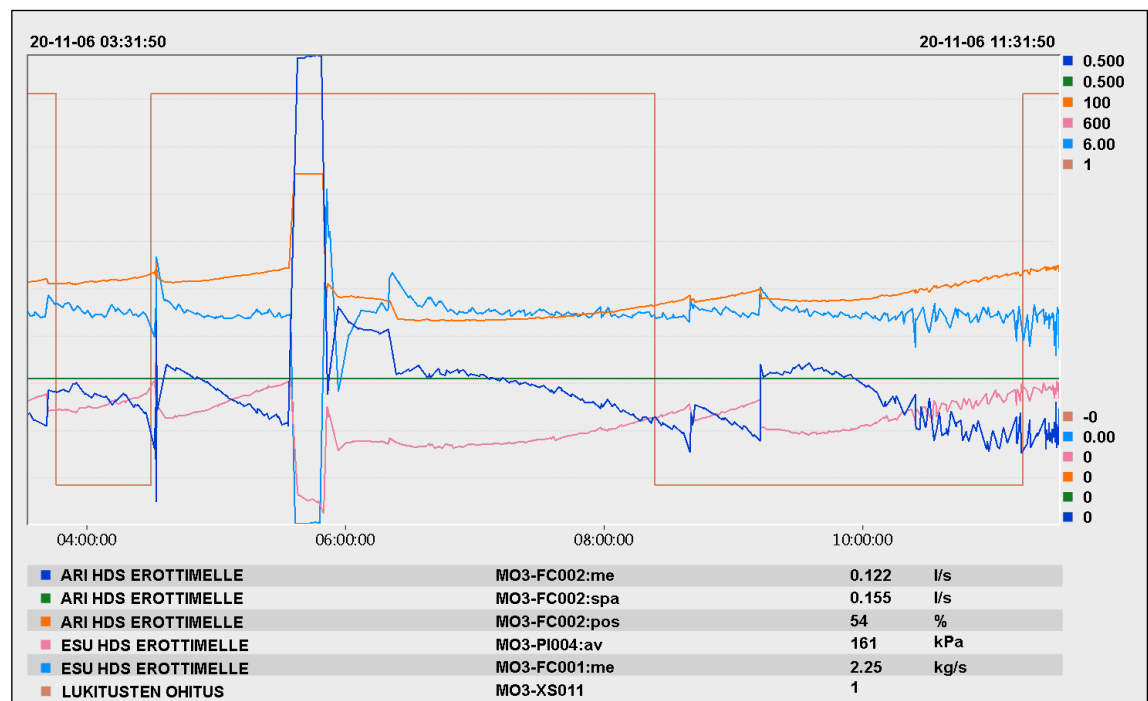


KUVIO 24. Rikkihapon virtauksesta johtuneet kirjatut tuotantokatkot vuonna 2020

Todellisuudessa rikkihapon virtauksesta johtuneita katkoja oli ollut siis paljon enemmän. Kesä- ja heinäkuun korkeita määriä voidaan selittää sillä, että silloin erikseen kannustettiin operaattoreita kirjaamaan syitä. Syyskuussa taas oli noin kolme viikkoa kestävä syysseisokki, jonka jälkeisessä ylösajossa katkoja tulee usein monista eri syistä. Myös lukitusten ohitus -valintaa oli käytetty melko paljon, joka oli vähentänyt katkojen lukumäärää.

### 5.4.3 Rikkihapon virtauksen lasku

Rikkihappopumpun taajuusmuuttajan parametrien lisäksi katkojen syynä on ollut rikkihapon virtauksen laskeminen suopalinjan paineen nousun takia. Kuviosta 25. nähdään, että rikkihapon virtaus (sininen) ei enää tavoita asetusrvoa 1,550 l/s (vihreä), kun suopalinjan paine (vaaleanpunainen) nousee noin 100–150 kPa:iin. Normaalisissa ajotilanteissa paineen pitäisi olla noin 50 kPa. Paineen nousu viittaa suopalinjan tukkeutumiseen. Juurisyy on siis tukoksessa, mutta se voi ilmetä rikkihapon virtauksen laskusta johtuvana katkona, poistuvan emäveden korkeana pH:na ja mäntyöljyn huonona laatuina.



KUVIO 25. Suopalinjan paineen vaikutus rikkihapon virtaukseen (Valmet DNA - automaatiojärjestelmä 2020b.)

## 5.5 Mäntyöljykeittämön sekvenssit

Mäntyöljykeittäjä on lähes kokonaan automatisoitu ja eri prosessivaiheet hoidetaan yleensä sekvenssien avulla. Mäntyöljykeittäjällä oli ollut käynnistys-, emäveden poisto-, pH-anturin huuhtelu-, tyhjennys-, pesu- ja AJH-linjan huuhtelusekvenssit. Aikaisemmin emäveden kierrätys on sisällynyt emäveden poitosekvenssiin, mutta siitä on puuttunut vaiheita eikä kierrätys ole siis voinut toimia. Emäveden kierrätykseen liittyvien laitteiden vaiheita on ollut myös muissa sekvensseissä. Tässä työssä emävedelle tehtiin oma kierrätyssekvenssi ”MO3-XJ007 VEV EMÄVEDEN KIERRÄTYSSEKVENSSI”, jonka takia myös muut sekvenssit piti päivittää kierrätykseen liittyvien laitteiden osalta. Lisäksi AJH-linjan huuhtelusekvenssi siirrettiin pois mäntyöljykeittämön sekvensseistä, koska se ei ole enää käytössä.

Sekvenssimuutokset, käyttöönotto ja testit tehtiin yhteistyössä Valmetin kanssa marraskuussa 2020. Esimerkiksi uusi emäveden kierrätyssekvenssi käynnistyy käynnistyssekvenssissä.



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyöhön sisällytetyt työt saatiin toteutettua aikataulussa yhtä lukuun ottamatta ja vaikutukset ovat olleet vähintäänkin tyydyttäviä. Uusi emäveden kierrätyssekvenssi toimi halutulla tavalla, mutta itse kierrätystä ei pystytty kuitenkaan ottamaan käyttöön, koska virtausta ei saatu tarpeeksi pieneksi. Tämä johtui siitä, että kierrätyspumppu on liian tehokas kyseiseen kohteeseen. Tulevaisuudessa pumppu kannattaa vaihtaa pienempitehoisempaan, jotta kierrätys saataisiin käyttöön. Mäntyöljykeittämön muut sekvenssit saatiin myös toimiviksi ja niiden suunnittelusta ja ohjeistuksista saatiin positiivista palautetta Valmetin työntekijältä, joka teki itse järjestelmämuutokset.

Mäntyöljykeittämön tuotantokatkoja saatiin vähennettyä huomattavasti rikkihappopumpun taajuusmuuttajan parametrejä säätämällä. Kuitenkin rikkihapon virtaussäätö pitäisi saada toimimaan A/R-tilassa, jotta prosessi toimisi optimaalisesti, eikä rikkihappoa kuluisi liikaa. Suovan uusi johtokykymittaus otettiin myös onnistuneesti käyttöön ja samanlainen voitaisiin lisätä suovan syöttösäiliön pohjasta lähtevään mustalipeälinjaan, jotta poistettavan aineen koostumusta ei tarvitsisi käydä aina toteamassa visuaalisesti. Tällä pystyttäisiin varmistamaan, että mustalipeän seassa tai sen sijaan ei poisteta suopaa.

Poistettavan emäveden syötön vaihtaminen HO6:n 1-yksiköihin onnistui hyvin ja erityisesti tämän muutoksen tulokset ovat olleet erinomaisia. Emäveden likaantumisen estävää vaikutusta 1-yksiköissä voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää myös HO5:llä, jos HDS:ltä saatava emäveden määrä on riittävä molemmille. Tämän lisäksi emävedelle voitaisiin tehdä välisäiliö, jolloin katkot emäveden poistossa eivät vaikuttaisi välittömästi haihduttamon toimintaan.

Edellä mainittujen lisäksi talteenotossa on muitakin kehityskohteita. Haihduttamoiden välilipeäsäiliöt tulisi saada otettua käyttöön, koska suopa eroaa niissä parhaiten. Tällöin suovan riittämättömyydestä johtuvia tuotantokatkoja pystyttäisiin vähentämään. Suovan nousunopeutta EVL-säiliöissä voitaisiin myös kasvattaa syöttämällä ilmaa säiliöihin.

Mäntyöljykeittämöllä tulevaisuudessakin jatkettavaa tuotannon optimointia voidaan helpottaa kahdella yksinkertaisella muutoksella. Ensimmäisenä, lukitusten ohitus -valinnan käyttö tulee lopettaa tavallisissa ajotilanteissa. Tällä tavoin voidaan priorisoida parannuskohteet, kun saadaan selville tuotantokatkojen todelliset määrät. Toisena on tuotantokatkojen syiden kirjaaminen AHS-järjestelmään, jotta niiden lukumäärän lisäksi nähdään myös todelliset syyt katkoihin. Kun nämä kaksi asiaa saadaan toimimaan, niin prosessin pahimmat ongelmakohdat nähdään nopeammin ja selkeämmin ja silloin niihin myös voidaan puuttua tehokkaammin.

## LÄHTEET

Alén, R. 2011. Biorefining of Forest Resources. Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Allen, L., Back, E. 2000. Pitch Control, Wood Resin and Deresination. Atlanta, USA: TAPPI PRESS.

Blom, J. 24.9.2020. Mäntyöljy voisi korvata fossiiliset muovit Suomessa - selluteollisuuden sivutuote taipuu mihin maaöljykin, mutta vastaako tarjonta kysyntää? Luettu 8.11.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-11557317>

Fardim, P. 2011. Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry and Technology. 2. painos. Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Inductive (Torodial, Electrodeless) Conductivity Sensor ISC40. N.d. Yokogawa. Luettu 22.10.2020. <https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/process-analyzers/liquid-analyzers/conductivity-sensors/inductive-torodial-electrodeless-conductivity-sensor-isc40/>

Imatran tehtaat. N.d. Stora Enso. Luettu 7.10.2020. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/imatra-mill>

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

Johtokyvyn mittaus. N.d. Kontram. Luettu 8.11.2020. <https://www.kontram.fi/laitteet/analysaattorit-ja-naytteenkasittely/johtokyvyn-mittaus.html>

Kaukopään tehtaat 80 vuotta. 2015. ELKA. Luettu 8.11.2020. <http://www.elka.fi/aikakone/index.php/2015/09/17/kaukopaan-tehtaat-80-vuotta/>

Karlsson, E. 2020. Evaporator scaling research. Powerpoint-tiedosto.

Knowpulp versio 18.0. 2020a. Pesu – tiivistelmä. Luettu 7.10.2020. [http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/washing/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/washing/1_general/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020b. AEL/Proledge Oy. Haihdutuksen tarkoitus ja periaate. Luettu 10.10.2020. [http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/1_general/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020c. AEL/Proledge Oy. Soodakattila – tiivistelmä. Luettu 10.10.2020. [http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/recovery\\_boiler/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/recovery_boiler/1_general/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020d. AEL/Proledge Oy. Kaustisointi – tiivistelmä. Luettu 12.10.2020.

[http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/1_general/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020e. AEL/Proledge Oy. Meesanpoltto – tiivistelmä. Luettu 12.10.2020.

[http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/lime\\_kiln/0\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/lime_kiln/0_general/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020f. AEL/Proledge Oy. Mäntyöljy. Luettu 8.10.2020.

[http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/byproducts/2\\_talloil/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/byproducts/2_talloil/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020g. AEL/Proledge Oy. Haihduttamon ongelmat. Luettu 19.10.2020.

[http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/6\\_fouling/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/pulping/evaporation/6_fouling/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpulp versio 18.0. 2020h. AEL/Proledge Oy. Johtokykymittaus. Luettu

5.11.2020. [http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/automation/measurements/basic\\_meas/8\\_conductivity/frame.htm](http://www.knowpulp.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/automation/measurements/basic_meas/8_conductivity/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Lew, C. 2013. Integrated Forest Biorefineries: Challenges and Opportunities. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.

Model ISC40G (S) Inductive Conductivity sensor and fittings. N.d. Yokogawa.

Pdf-tiedosto. Luettu 22.10.2020. <https://web-material3.yokogawa.com/GS12D08J02-E-E.pdf>

Mäntyöljy. N.d. Stora Enso. Luettu 8.10.2020. <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/bio-based-chemicals/tall-oil>

MÖ3 Mäntyöljykeittäjä ja säiliöalue PI-kaavio. 2009. Pdf-tiedosto. Stora Enson liiketoimintajärjestelmä. Saatavilla rajoitetusti.

Niiranen, Juha. 2015a. MÖ3 prosessikuvaus. Stora Enso Imatran tehtaiden liiketoimintajärjestelmä. Saatavilla rajoitetusti.

Niiranen, Juha. 2015b. MÖ3 laatutavoitteet. Stora Enso Imatran tehtaiden liiketoimintajärjestelmä. Saatavilla rajoitetusti.

Niiranen, Juha. 2015c. HO6 haihdutinyksiköiden 1A, 1B ja 1C pesu, 2-yksikön keitto. Stora Enso Imatran tehtaiden liiketoimintajärjestelmä. Saatavilla rajoitetusti.

Niiranen, Juha. 2015d. MÖ3 toimintakuvaus, johdanto, osaston rajausta ja laitteet. Stora Enso Imatran tehtaiden liiketoimintajärjestelmä. Saatavilla rajoitetusti.

Pohjakallio, M. 2015. Mäntyöljy on biopohjaisten tuotteiden aarreaitta. Luettu 8.11.2020. <https://www.biotalous.fi/mantyoeljy-on-biopohjaisten-tuotteiden-aarreaitta/>

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H., Sironen, R. 2005. Paperimassan valmistus. 2.-3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Stenius, P. 2000. Forest Products Chemistry. Helsinki: Fapet Oy.

Tietoja Stora Ensosta. N.d. Stora Enso. Luettu 7.10.2020. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

Tikka, P. 2008. Chemical Pulping Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2. painos. Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Tuotantopäällikkö. N.d. Stora Enso. Luettu 8.11.2020. <https://jobs.storaenso.com/job/Imatra-Tuotantop%C3%A4%C3%A4llikk%C3%B6/520557902/>

Valmet DNA -automaatiojärjestelmä. 2020a. HO6. Näyttökuva. Saatavilla rajoitetusti.

Valmet DNA -automaatiojärjestelmä. 2020b. MÖ3. Näyttökuva. Saatavilla rajoitetusti.