

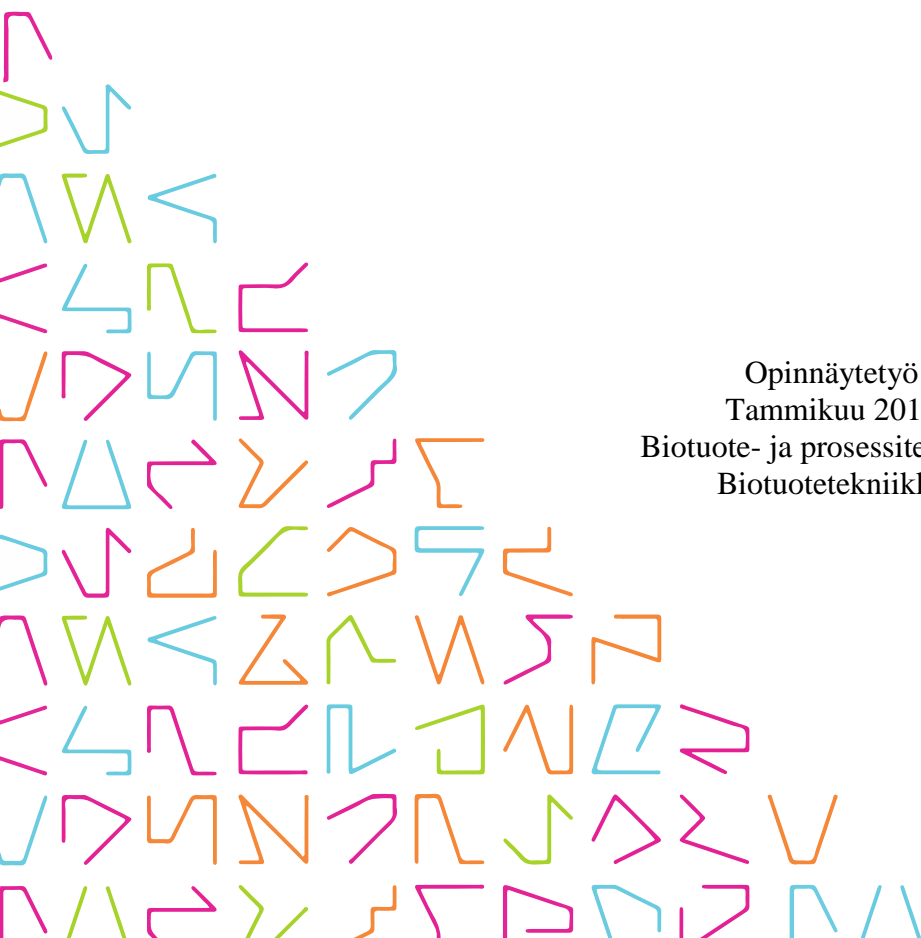


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PURKULAIMENNUKSIEN OPTIMOINTI SU- PERBATCH KEITOSSA

Valtteri Shemeikka

Opinnäytetyö
Tammikuu 2018
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka

VALTTERI SHEMEIKKA

Purkulaimennuksien optimointi SuperBatch keitossa

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Tammikuu 2018

Opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida SuperBatch keittimen purkulaimennuksia Enocellin sellutehtaalla. Tehtaalla on ilmennyt vaikeuksia keittimien tyhjentämisessä, joka on johtanut puskuajkojen ja tyhjentämiseen tarvittavan lipeän käytön lisääntymiseen.

Työn tavoitteena oli pyrkiä pienentämään keittimien tyhjennys aikaa ja saada näin myös tasoitettua laimennuslipeä määrän käyttöä. Työssä suoritettiin koeajoja, joissa säädettiin keittimien pusku parametreja. Purkutapahtumassa kiinnitettiin myös huomiota siihen, kuinka ohjelma käyttäytyy ja toimii prosessissa. Työ painottui laimennusventtiilien ja purkuventtiilin säätämiseen.

Tuloksien perusteella ongelmia voidaan osittain korjata laimennuksia säätämällä. Kuitenkaan yksittäisiä pitkiä puskuja ei saada poistettua ohjelma muutoksilla. Pitkät tyhjennykset voivat johtua keittotapahtuman aikaisemmista vaiheista, tai keittimien rakenteellisista eroista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Name of the Degree Programme
Name of the Option

VALTTERI SHEMEIKKA

Optimization of discharge dilutions in SuperBatch digesters

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 15 pages

August 2015

The target of the thesis work was to optimize the discharge dilutions in the SuperBatch digesters on the Enocell pulp mill. The factory has encountered difficulties in emptying digesters which has led to increased total time of cooking process and use of dilution liquors.

The target of the work was to reduce the time of discharge and moderate the use of dilution liquors. Tests were run in the work and the purpose was to adjust discharge parameters. In the discharge event attention was paid on how the program behaves and operates in a normal process situation. Thesis focused mostly on adjusting the dilution valves and discharging valve.

Based on results, the problems can be partially fixed by adjusting dilutions. However, individual long discharges cannot be removed by program modifications. Long discharges might be a result from earlier stages of cooking or the structural differences in the digesters.

Key words: superbatch, dilutions, discharge time, dilution liquor, optimization

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus.....	6
2	TOIMEKSIANTAJA STORA ENSO OYJ ENOCELL	8
2.1	Stora Enso konserni	8
2.2	Stora Enso Oyj Enocell sellutehdas	8
3	SULFAATTIMENETELMÄ	10
3.1	Sulfaattikeitto.....	10
3.1.1	Eräkeitto	11
3.2	Ruskeanmassan pesu.....	11
3.3	Valkaisu	12
4	SUPERBATCH ERÄKEITTÄMÖ	13
4.1	SuperBatch-keiton vaiheet.....	14
4.1.1	Haketäyttö	14
4.1.2	Imeytysvaihe	15
4.1.3	Kuumalipeätäyttö	15
4.1.4	Nosto- ja keittovaihe	15
4.1.5	Syrjäytys.....	15
4.1.6	Keittimen tyhjennys	16
4.1.7	Huonot tyhjennykset	16
4.2	Keittimen rakenne Stora Enso Enocellissä	17
5	PURKULAIMENNUKSIEN KOEAJOT	19
5.1	Koeajon tavoite	19
5.2	Tilanne ennen koeajoja	20
5.3	Pitkä koeajo.....	24
5.4	Lyhyt koeajo	26
6	TULOKSIEN TUTKINTA JA ANALYSOINTI.....	32
6.1	Pitkä koeajo.....	32
6.2	Lyhyt koeajo	34
6.3	Huomioita koeajoista	35
7	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	39
	Liite 1. Tulokset ja vertailut KL1 keittimillä	39
	Liite 2. Tulokset ja vertailut keittimillä 6 ja 7	45
	Liite 3. Toisen koeajon tuloksia KL1 keittimillä.....	49
	Liite 4. Toisen koeajon tuloksia keittimillä 6 ja 7	52

ERITYISSANASTO

SuperBatch	Eräkeiton muunnelma
H-tekijä	Keittoaika, joka riippuu lämpötilasta ja ajasta
Pusku tai purku	Keittimen tyhjennys vaihe
Puskuaika	Aika missä keitin tyhjenee
Puskuhajonta	Tyhjennysaikojen hajontaa
KL1	Kuitulinja 1
KL2	Kuitulinja 2
Savcron Wedge	Prosessianalyysijärjestelmä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on saatu toimeksiantona Stora Enson Enocellin sellutehtaalta. Työ käsittelee SuperBatch-keittimen purkulaimennuslinjojen optimointeja ja laimennuslipeämäärien tasoittamista keittimen purkaessa.

SuperBatch on eräkeittomuunnelma, jossa pesemöltä tuleva mustalipeä syrjäyttää keittimessä olevan kuumen keittoliemen paineellisiin akkuihin. Purkulaimennuslinjojen tehtävänä on helpottaa keittimen tyhjennystä laimentaen ja jäähdyttäen kuumaa sellumassaa.

Laimennuslinjat tulevat tällä hetkellä Enocellin keittimissä kahdella erilaisella tavalla. Osassa keittimissä on kolme laimennuslinjaa, jotka tulevat keittimen yläkartioon, alakartioon ja purkulaimennuslinjaan. Osassa keittimistä viimeinen purkulaimennuslinjaan tuleva laimennus puuttuu.

Laimennusmääriä ohjataan automaattiventtiileillä, joita operaattori voi halutessaan säätää valvomosta. Ohjelma säätää automaattiventtiilejä keittimen painon tai lämpötilan mukaan.

Tehtaalla tehtiin syksyllä 2017 investointi, missä osaan keittimistä lisättiin kolmas laimennuslinja purkulinjaan ja muutettiin ne laimennuslinjat automaattiventtiilin perään, joihin kyseinen linja oli jo asennettu. Samassa yhteydessä päivitettiin valvomoiden ajojärjestelmä ja laimennuslinjojen säätömahdollisuutta muutettiin paremmaksi.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tehtaalla on ollut vaikeuksia saada keittimet tyhjenemään ajallisesti tasaiseen tahtiin, ja huonot tyhjennykset aiheuttavat myös laimennuslipeän määrän lisääntymistä. Työn tavoitteena on saada tasoitettua keittimien tyhjennysaikaa ja näin saada myös vähennettyä tyhjennyksissä tarvittavaa laimennuslipeän määrää.

Opinnäytetyössä käydään myös läpi keittimien tyhjennyksiä ennen investointia. Tuloksissa tarkastellaan puskulaimennusinvestoinnin vaikutusta keittimien tyhjennyksiin.

Työtä on rajattu koskemaan keittimissä olevien laimennuslinjojen säätöä ja pyrkimällä sitä kautta samaan aikaan tasaisempia tyhjennyksiä ja pienempiä laimennus määriä. Heikkoihin tyhjennyksiin voi olla useita eri syitä, joita ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

2 TOIMEKSIANTAJA STORA ENSO OYJ ENOCELL

2.1 Stora Enso konserni

Stora Enso on uusiutuvien ratkaisujen tarjoaja pakkauksissa, biomateriaaleissa, paperissa ja puutuotteissa. Yritys toimii maailmanlaajuisesti ja sillä työskentelee noin 25 000 ihmistä yli 35 maassa. Stora Enso koostuu viidestä eri divisioonasta: Consumer Board, Packaging Solutions, Biomaterials, Wood Products ja Paper. Vuonna 2016 yrityksen liikevaihto oli 9.8 miljardia euroa (Stora Enso, 2018)

2.2 Stora Enso Oyj Enocell sellutehdas

Enocellin sellutehdas sijaitsee Itä-Suomessa noin 50km Joensuussa koilliseen Uimaharjulla. Tehtaalla alkoi selluntuotanto 1967. Vuosina 1990-1992 tehdasta uudistettiin ja alueille rakennettiin toinen linja. Tehtaan kapasiteetti on 450 000 tonnia valkaistua havupuusellua kartonki- ja paperiteollisuudelle, sekä liukosellua tekstiiliteollisuuden tarpeisiin. (Enocell tehdasesite, 2018)

Stora Enso investoi Enocellin tehtaaseen vuonna 2017 tarkoituksenaan kasvattaa tehtaan liukosellu kapasiteettia. Tehtaan molemmat linjat muutetaan tuottamaan liukosellua ja havusellun valmistus lopetetaan kokonaan. Muutostyöt on tarkoitus saada päätökseen vuoden 2019 jälkipuoliskolla. (Jaana Kainulainen, Karjalainen, 25.10.2017)



KUVA1. Stora Enso Oyj Enocellin sellutehdas (Enocell tehdasesite, 2018)

Tehdas työllistää noin 170 henkilöä, joista 30 on toimihenkilöitä. Uudet rekrytoinnit tapahtuvat pääsääntöisesti oppisopimuskoulutuksella. Enocell on yksi Pohjois-Karjalan suurimmista työllistäjistä. (Enocell tehdasesite, 2018)

Opinnäytetyön aiheen ehdotus tuli tehtaan henkilökunnalta. Tehtaan puolelta työnohjaajana toimi käyttöpäällikkö Pekka Ignatius ja Tampereen ammattikorkeakoulunohjaajana toimi laboratorioinsinööri Arto Nikkilä. Työn aloituspalaveri pidettiin tammikuussa 2017 ja työn suorittamisaikatauluksi sovittiin tammikuu-maaliskuu 2017.

3 SULFAATTIMENETELMÄ

Sulfaattiselluksi kutsutaan sulfaattimenetelmällä tehtyä sellua. Menetelmällä tehdään nykyisin valtaosa maailmassa tehdystä sellusta. Sulfaattisellua valmistetaan keittämällä puuhaketta valkolipeän kanssa korkeassa lämpötilassa. Menetelmä on saanut nimensä kemikaalien talteenoton korvauskemikaalista natriumsulfaatista. Nykyään sitä ei juurikaan käytetä tehtaisiin tehtyjen suljettujen kiertojen vuoksi, mutta sulfaattimenetelmä nimi on silti säilynyt. (Suomen metsäyhdistys, 2018)

3.1 Sulfaattikeitto

Keiton tarkoituksena on liuottaa puukuituja toisiinsa sitova ligniini ja näin saada selluloosakuidut irrotetuksi toisistaan. Keitto suoritetaan korkeassa lämpötilassa, jotta ligniini saadaan irrotettua riittävän nopeasti. Tavallisesti keitto lämpötila on 160-180 °C. Jotta lämpötila saadaan nostettua riittävän korkeaksi, tarvitaan siihen paineenkestäviä astioita, joita kutsutaan keittimiksi. (Ingmar Häggblom & Veikko Ranta, 1977, 163)

Keitto tapahtuu voimakkaasti alkalisella liuoksella, joista eniten keittoon vaikuttavat kemikaalit ovat natriumhydroksidi ja natriumsulfidi. Näiden kemikaalien yhdistelmää kutsutaan valkolipeäksi. Sulfaattisellun raaka-aineena käytetään pääosin mäntyä, kuusta ja koivua. Ennen keittoa puuraaka-aine on kuorittu ja haketettu. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 75)

Mustalipeä on keitossa käytetyn valkolipeän, puusta lionneen ligniinin ja muiden orgaanisten yhdisteiden sivutuote. Tämä pyritään keräämään mahdollisimman tehokkaasti talteen massasta ja se pumpataan talteenottolinjalle. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 75)

Massassa jäljellä olevan ligniini määrää kuvataan kappaluvulla. Kuidussa oleva ligniini aiheuttaa massan ruskean värin keiton jälkeen. Keittokemikaalit ovat valkaisukemikaaleja edullisempia, joten siksi ligniini pyritään poistamaan jo melko tarkasti keiton aikana. Liika poistaminen keitossa aiheuttaa kuitenkin selluloosan liukenemistä ja alentaa näin massan lujuuutta ja saantoa. (Knowpulp, 2018)

Keittomenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään, eräkeitämöön ja jatkuvatoimiseen keittämöön. Eräkeitossa sellua keitetään vaihe kerrallaan keittimissä, joita on keittämöllä useita kappaleita. Jatkuvatoimisessa keitossa haketta ja kemikaaleja menee jatkuvasti keittimen yläpäähän ja alapäästä puretaan valmista massaa. Jatkuvatoimista keittoa kutsutaan usein myös vuokeitoksi. (Knowpulp, 2018)

3.1.1 Eräkeitto

Eräkeiton periaate on, että keittimessä keitetään hake-erä kerrallaan valmiiksi, jonka jälkeen se tyhjennetään ja otetaan uusi hake-erä keittoon. Keitto tapahtuu joko suoralla, tai epäsuoralla lämmityksellä. Suorassa lämmityksessä keittimen pohjaan johdetaan suoraan höyryä, joka kuumentaa lipeän ja saa aikaan keittimessä kierron. Epäsuorassa lämmityksessä keittolipeän ajetaan lämmönvaihtimen läpi, jossa lämmönvaihtopinnan toiselle puolelle johdettu höyry lämmittää lipeän. (Ingmar Häggblom & Veikko Ranta, 1977, 165)

Perinteinen eräkeitto on vähentynyt tehdasmittaisessa käytössä. Nykyään tehtailla on käytössä eräkeiton muunnelmia, joilla on parempi hyötysuhde lämmöntalteenotossa ja sellun laadussa. Vanhanmallisia eräkeitimiä on käytössä nykyisin enää laboratoriokeitoissa. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 84)

3.2 Ruskeanmassan pesu

Keiton jälkeen prosessin seuraava vaihe on pesu. Pesemisen tarkoituksena on poistaa massasta keiton aikana liennut puuaine ja keittokemikaalit, eli mustalipeä. Pesuprosessin päätavoite on saada massa mahdollisimman puhtaaksi jatkokäsittelyä varten, sekä saada mustalipeä talteen. Liika peseminen laimentaa mustalipeää ja se vaikeuttaa jatkokäsittelyn toimintaa haihduttamalla. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 101)

Mustalipeän syrjäytys vedellä massasta laimentamatta sitä olisi ihanneratkaisu pesun kannalta. Kuitenkin tämänlaista ihannetilannetta ei voida saavuttaa, koska se vaatisi massakerroksen täydellistä tasaisuutta, jolloin myös läpivirtaus tapahtuisi tasaisesti massan läpi.

Sen lisäksi myös nesteiden rajapinnassa tapahtuu aina sekoittumista. Näiden vuoksi veteen jää mustalipeää ja mustalipeään siirtyy vettä. Laimennusta on pyritty rajoittamaan käyttämällä vastavirtapesu periaatetta, siinä vain puhtain massa pestään vedellä ja tästä syrjäytettyä nestettä käytetään aina edellisen vaiheen pesussa. (Ingmar Häggblom & Veikko Ranta, 1977, 183)

Huonosti pesty massa aiheuttaa ongelmia myös seuraavissa vaiheissa, esimerkiksi kuohaongelmia. Sen lisäksi valkaistun massan valmistuksessa likainen massa aiheuttaa valkaisukemikaalikustannuksia.

3.3 Valkaisu

Valkaisun tarkoituksena on parantaa massan puhtautta ja vaaleutta. Merkittävin tummumista aiheuttava aine on jäännösligniini, jota pyritään valkaisussa poistamaan. Mekaanisen massan valmistuksessa ligniiniä voidaan myös vaalentaa, mutta kemiallisessa menetelmässä massat valkaistaan aina ligniiniä poistavalla tavalla. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 122)

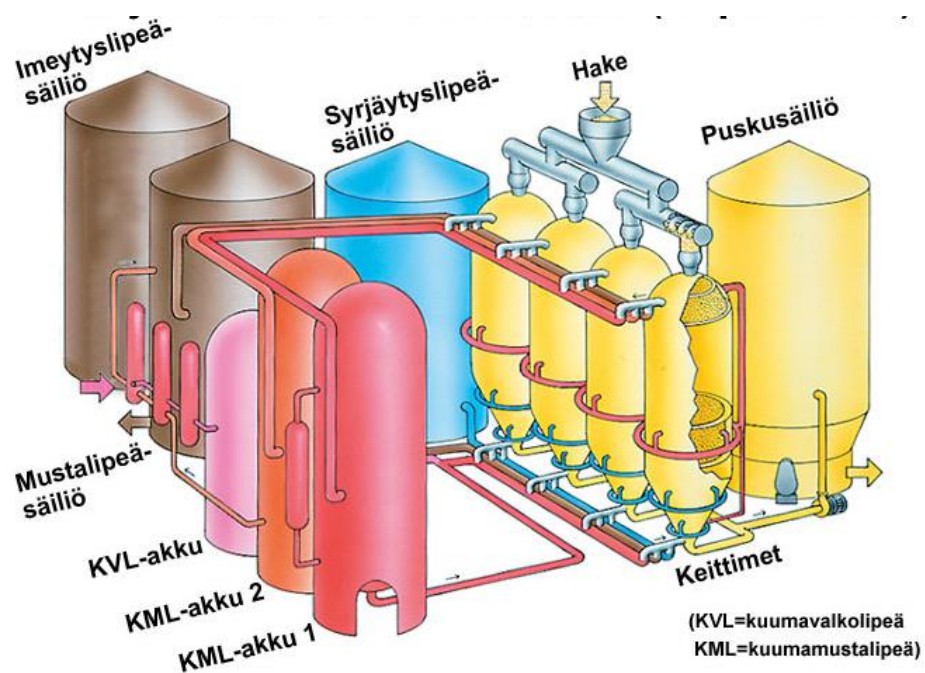
Tavoitteena on poistaa ligniini massasta mahdollisimman tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Vaikka valkaisuprosessia on kehitetty merkittävästi viime vuosina, on silti se yksi sellutehtaan merkittävin vedenkuluttaja ja jätevesipäästöjen aiheuttaja. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 122)

Sellun vaaleustavoitteista käytetään termejä: puolivalkaistu, vajaavalkaistu ja täysvalkaistu sellu. Ennen puhuttiin myös supervalkaistusta sellusta, joka tarkoitti samaa tai ylitti täysvalkaistun sellun tavoitteet. Vaaleusyksikkönä on yleisesti käytössä ISO-määritysmenetelmä. Kun vaaleuden ISO % on yli 88, voidaan sanoa, että massasta on poistettu kaikki ligniini ja se on täysvalkaistua sellua. (Puumassa valmistus, 1983, 815 - 816)

4 SUPERBATCH ERÄKEITTÄMÖ

Syrjäytyseräkeitto on eräkeiton muunnelmä, josta yksi niistä on Valmetin valmistava SuperBatch. SuperBatch-keitossa mustalipeä pyritään saamaan talteen paineenalaisena ja korkeassa lämpötilassa. Tätä kuumaa mustalipeää käytetään seuraavissa keitoissa, jolloin sen lämpösisältö voidaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. Syrjäytyseräkeitto menetelmä on vähentänyt eräkeiton energiakulutusta vuokeiton tasolle. (Knowpap, 2018)

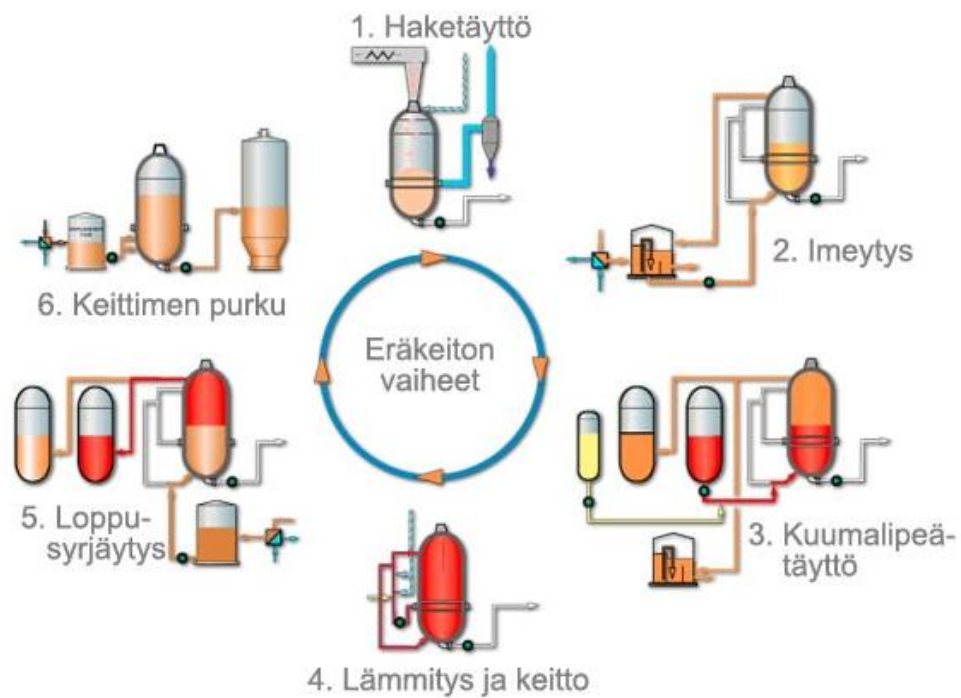
Syrjäytyseräkeitossa keittämölle tarvitaan lisäksi paineenkestäviä säiliöitä, joita kutsutaan akuiksi. Akut varastoivat kuumaa musta- ja valkolipeää, joita tarvitaan prosessin keittovaiheessa.



KUVA 2. Neljän keittimen SuperBatch-keitto (Knowpulp, 2018)

4.1 SuperBatch-keiton vaiheet

Syrjäytyseräkeitto voidaan jakaa kuuteen eri vaiheeseen, joista jokainen kestää 20-60min vaiheesta riippuen. Koko prosessi kestää yleensä noin 4h, jonka jälkeen keitto alkaa alusta. Prosessin todellinen kesto vaihtelee, riippuen esimerkiksi puulajista.



KUVA 3. SuperBatch keiton vaiheet (EnoMaster)

4.1.1 Haketäyttö

Prosessi alkaa haketäytöstä, jossa keittimeen pakataan haketta höyryn avulla. Höyrypakain poistaa hakkeesta ilmaa ja tasaa sen kosteutta. Sen avulla keittimeen saadaan noin 25% enemmän haketta ja se helpottaa lisäksi keittonesteen imeytymistä. Koivuhakkeelle ei höyrypakkausta välttämättä tarvitse. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 85)

4.1.2 Imeytysvaihe

Haketäytön jälkeen alkaa prosessin imeytysvaihe. Keitin täytetään lämpimällä mustalipeällä ja samaan aikaan keittimen yläpään syrjäytyssihtien läpi poistetaan ilmaa ja ylimääräistä mustalipeää. Imeytysvaiheen lopussa ilman ja lipeän poisto lopetetaan, mutta mustalipeän pumppausta jatketaan keittimeen, näin keitin saadaan paineistettua noin 3,5 bar:n paineeseen. (EnoMaster, 2018)

4.1.3 Kuumalipeätäyttö

Kuumalipeätäytössä keittimeen annostellaan tarvittava alkaliannos ja nostetaan lämpötila lähelle keittolämpötilaa. Keittimen pohjan kautta pumpataan noin 160-170°C-asteista mustalipeää kuumamustalipeä akuista. Kuumamustalipeällä syrjäytetään imeytysvaiheen noin 90°C lämpöinen lipeä. Tällä vaiheella pystytään säästämään aikaa ja lämmityshöyryä keitossa. Kun kuumamustalipeä on pumpattu keittimeen, lisätään keittoon tarvittava määrä valkolipeää. (EnoMaster, 2018)

4.1.4 Nosto- ja keittovaihe

Nosto- ja keittovaiheessa keittimen kiertopumppu käynnistetään ja kiertoputkistossa kiertävään mustalipeään ajetaan kuumaa höyryä höyrystintien kautta. Keitto etenee keittokaavion mukaisesti ja kiertopumppua pidetään päällä aina keiton loppuun asti. Keittovaiheessa myös kaasausventtiili aukaistaan ja syntyneet kaasut johdetaan kylmempään akkuun. Akusta kaasut siirtyvät tärpätinerotukseen ja väkevien hajukaasujen keräilyyn. (Kemiallinen metsäteollisuus 1 - Paperimassan valmistus, 2001, 86)

4.1.5 Syrjäytys

Kun keitossa on päästy tavoite H-tekijään, lopetetaan keitto syrjäyttämällä keitin pesulipeällä. Pesulipeä on lipeää, jota on käytetty sellun pesuun. Tavallisesti se on lämpötilaltaan 60-80°C. Pesulipeä pumpataan keittimen pohjasta sisään ja keittimessä oleva kuu-

mamustalipeä syrjäytetään akkuihin. Aluksi syrjäytyvä kuumin osuus otetaan talteen kuumempaan akkuun, johon sitä otetaan tavallisesti niin paljon kuin seuraavan keiton kuumamustalipeä täytössä vaaditaan. Viileämpi osuus mustalipeästä käännetään kylmempään akkuun. Pesulipeän tarkoitus on jäähdyttää ja pestä sellua, sekä sen avulla suurin osa keiton lämpötilasta saadaan talteen mustalipeäakkuihin. (EnoMaster, 2018)

4.1.6 Keittimen tyhjennys

Yleisimmin keittimen tyhjennys, eli purku tai pusku tehdään keskipakopumpulla. Pumppu tyhjennykseen vaaditaan massalta alhaista lämpötilaa, joka yleisesti saavutetaan syrjäytysvaiheessa. Purkaessa keittimen pohjaan ajetaan laimennuslipeää, jolloin saadaan haluttu pumppaus-sakeus massalle. Laimennuksen tarkoitus on helpottaa keittimen tyhjenemistä, sekä jäähdyttää massaa.

4.1.7 Huonot tyhjennykset

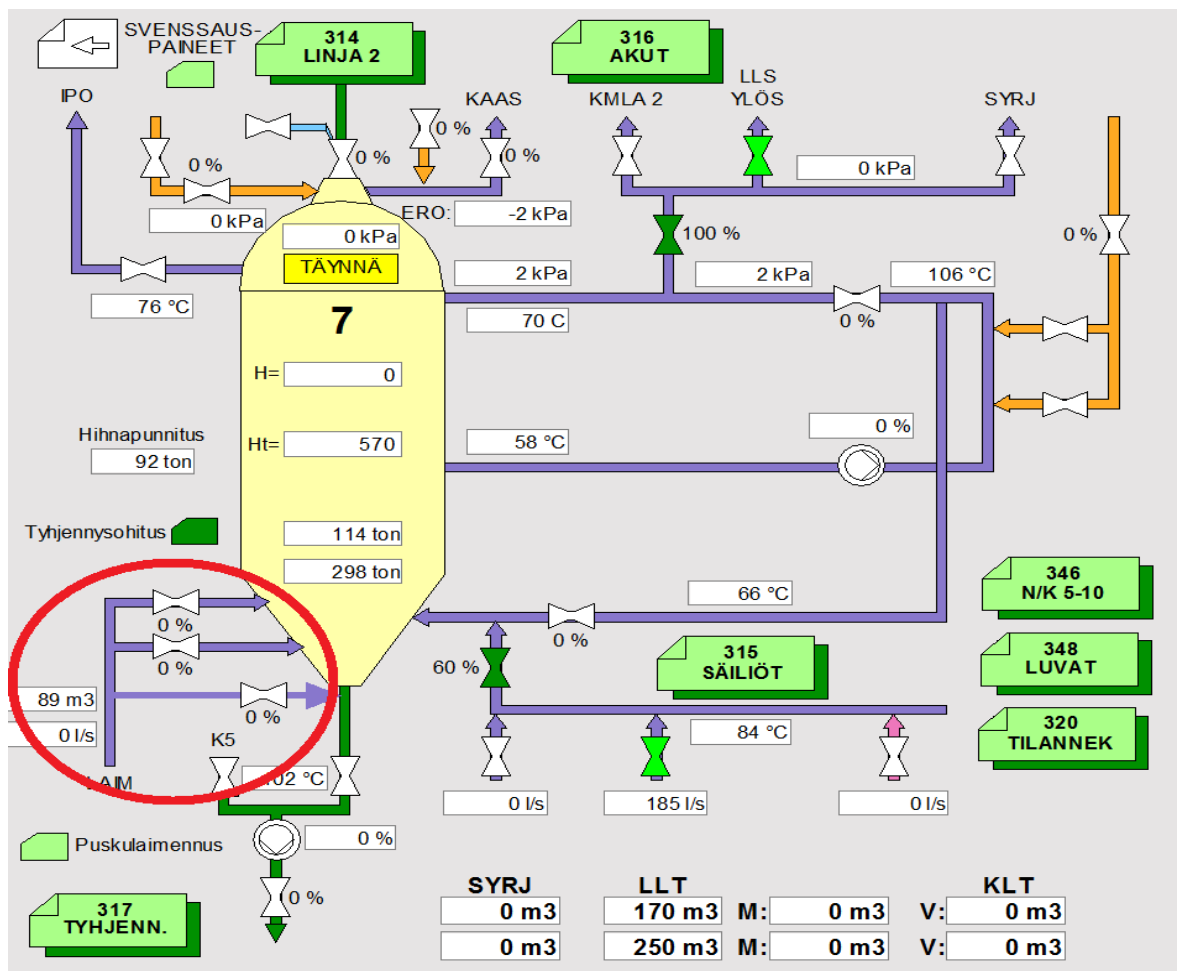
Huonoissa puskuissa keittimeen jää massaa, tai sen tyhjeneminen kestää normaalia pidempää. Tämä aiheuttaa keittotappioita, joka vaikuttaa tehtaan tuotantoon. Huonot tyhjennykset aiheuttavat myös laimennuslipeä käytön lisääntymistä, joka laimentaa massaa ja sekoittaa tehtaan pesemön toimintaa.

Syynä huonoihin tyhjennyksiin voi olla keittimen operointi tai hakelaatu. Tyhjennysvaikeuksia aiheuttavia tekijöitä on esimerkiksi: puskuventtiilin liian pieni halkaisija, pieni nestesuhde, puulaji (koivu ja kuusi vaikeampia kuin mänty), keittokovuus, puskuventtiilin hidas aukeaminen, tai laimennuksien epäonnistuminen. (Puumassa valmistus, 1983, 355)

Enocellin tehtaalla yleensä purkuvaiheen lopussa ilmenee ongelmia tyhjenemisessä. Keittimen alakartioon jää massakakku, joka ei irtoa keittimen seinistä. Suurimmat ongelmat ilmenevät, kun keittimessä on noin 30 tonnia tai sen alle massaa jäljellä.

4.2 Keittimen rakenne Stora Enso Enocellissä

Enocellissä on tällä hetkellä käytössä 10 keitintä, joista 1-4 tekevät liukosellua ja 5-10 tekevät valkaistua havusellua. Rakenteeltaan merkittävin ero tämän opinnäytetyön kannalta on keittimien puskulaimennuslinjojen määrä. Keittimissä 1-4 ja 6-7 puskulaimennuslinjat tulevat kolmeen kohtaan: yläkartioon, alakartioon ja purkulinjaan. Keittimissä 5 ja 8-10 puuttuu viimeinen purkulinjaan tuleva laimennus.



KUVA 4. Keitin 7 rakenne (Honeywell experion, Enocell)

Kuvassa 4 on näkyvissä keitin numero 7 rakenne. Punaisella ympyröidystä kohdasta näkyvät keittimen kaikki kolme laimennuslinjaa, sekä jokaisen linjan venttiilikulmat. Punaisen ympyrän alapuolelta olevasta ”Puskulaimennus” sivulta pääsee säätämään laimennuksen parametreja.

Viimeinen purkulinjaan tuleva laimennus on lisätty keittimeen helpottamaan kuumia puskuja, eli silloin kun massan lämpötila nousee liian korkeaksi puskuvaiheessa, laimennuslinja avautuu. Yläkartion ja alakartion laimennuksia ohjelma säätelee normaali tilanteessa keittimen painon mukaan.

5 PURKULAIMENNUKSIEN KOEAJOT

Koeajoja suoritettiin tehtaalla 26.2.2018 – 31.3.2018. Muutokset tehtiin siten, että keittimille asetettiin aluksi yksi koeajomalli, jota muutettiin koeajojen edetessä haluttuun suuntaan, kun tulokset aikaisemmasta mallista olivat selvillä. Parametrimuutokset tehtiin keittimiin 1-4 ja 6-7, sillä niissä on kolmas laimennuslinja, joka tulee myöhemmin käyttöön myös muihin keittimiin.

Puskujen tasaisuutta ja lipeän kulutusta tarkasteltiin Savcron Wedge ohjelmistolla, joka on ohjelma millä pääsee näkemään kaavioita ja tietoja mittauksista. Puskulaimennus muutokset tehtiin Honeywell Experion automaatiojärjestelmään.

Taulukko 1. Koeajojen aikataulut

Koeajot	Aika
Pitkä koeajo	5.3.2018 – 11.3.2018
Lyhyt koeajo muutos 2	15.3.2018 – 16.3.2018
Lyhyt koeajo muutos 3	16.3.2018 – 18.3.2018
Lyhyt koeajo muutos 4	20.3.2018 – 21.3.2018
Lyhyt koeajo muutos 5	22.3.2018 – 23.3.2018

5.1 Koeajon tavoite

Liukosellua valmistaville keittimille tavoitteeksi asetettiin pienentää puskuaikaa, sekä keittojen puskuhajontaa. Laimennusmäärän pienentämiseen ei tällä linjalla ole tarvetta, mutta se ei saisi myöskään nousta koeajoissa.

Keittimillä 6-7 tavoiteltiin puskujen tasaisuutta ja laimennusmäärien pienentämistä. Havusellun ajolajeissa suurimmat ongelmat tulevat tyhjennyksiin, kun massassa on korkea kuusipitoisuus.

Tuloksiin päästiin säätämällä purkuvaiheessa keittimen purkuventtiilin kulmaa, laimennuksien venttiilikulmaa, laimennuksien virtaustehoa ja painorajoja. Painoraja ilmoittaa keittimen massan ja sen avulla ohjataan puskulaimennuksien parametreja.

5.2 Tilanne ennen koeajoja

Opinnäytetyön yksi tavoitteista on tietää laimennuslinjojen investointien merkitys keittimien tyhjenemiseen. Keittimistä kerättiin tietoa, kuinka ne ovat tyhjentyneet puolen vuoden aikana ennen investointia. Tiedot kerättiin Savcron Wedge ohjelmalla.

Taulukko 2. KL1 keittimien tilastot ennen investointia ajalta 1.2.2017 – 31.8.2017

	Keitin 1	Keitin 2	Keitin 3	Keitin 4
Puskujen keskiarvo (min)	18	17	17	16
Puskujen keskihajonta (min)	5	7	4	4
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	188	169	178	151
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	63	66	50	53


Kuitulinja 1 keittimillä ei ole suuria eroja puskuajoissa. Suurimmat erot havaitaan laimennuslipeän kulutuksessa. Samat tiedot kerättiin myös kaikilta kuitulinja 2 keittimiltä.

Taulukko 3. KL 2 keittimien tilastot ennen investointia ajalta 1.2.2017 – 31.8.2017

	Keitin 5	Keitin 6	Keitin 7	Keitin 8	Keitin 9	Keitin 10
Puskujen keskiarvo (min)	13	16	13	12	10	10
Puskujen keskihajonta (min)	6	6	3	4	3	4
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	116	133	94	101	89	88
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	82	56	24	34	33	48

Koejoissa puskulaimennusmuutokset tehtiin keittimiin 1-4 ja 6-7. Muutoksien suunnittelu aloitettiin tarkastelemalla keittimien puskulaimennusparametreja lähtötilanteessa.

Taulukko 4. KL1 parametrit ennen koeajoja. (Honeywell Experion)


641D344PK1 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN1						
ylä-pohja					TYHJENNYKSEN AIKAINEN KIERRÄTYS	
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]		
> 92.0	180	0.50	70	30	 TYHJENNYKSEN JÄLKILAIM. <input type="text" value="30 s"/>	
> 93.0	190	0.45	65	35		
> 94.0	200	0.40	60	40		
> 95.0	220	0.30	55	45		
> 96.0	230	0.25	50	50		
> 97.0	240	0.20	45	55		
> 98.0	250	0.15	40	60		
Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
> 250	4.8	100	80	50	50	91
> 190	4.8	120	90	50	50	91
> 140	4.8	150	95	50	50	91
> 110	4.8	180	100	50	50	91
> 80	4.8	200	100	50	30	91
> 30	4.8	190	100	50	30	91
> 10	4.8	180	80	50	50	91

Taulukossa 3 ylempänä oleva taulukko ajaa puskulaimennuksia silloin, kuin massan lämpötila on 92 °C tai päälle, tällöin laimennuksia ohjataan lämpötilan perusteella. Alempana oleva taulukko ajaa laimennuksia keittimen massan mukaan, silloin kun lämpötila on 91 °C tai sen alle.

Laimennuslipeän virtausta laimennuslinjoihin ohjataan virtaus sarakkeesta ja Puskuv sarakkeesta ohjataan puskuventtiilin kulmaa. Ylemmässä taulukossa suhde ilmoittaa ylä- ja alalaimennus venttiilien venttiilikulmaa suhteessa toisiinsa ja Ala laim on purkulinjaan tulevaa laimennusventtiilin kulma. Alemmassa taulukossa taas Ala laim tarkoittaa keittimessä olevaa alalaimennusta ja Ylä laim keittimessä olevaa ylälaimennusta. Sakeus ei ole käytössä, joten sillä ei ole vaikutusta laimennuksien toimintaan.

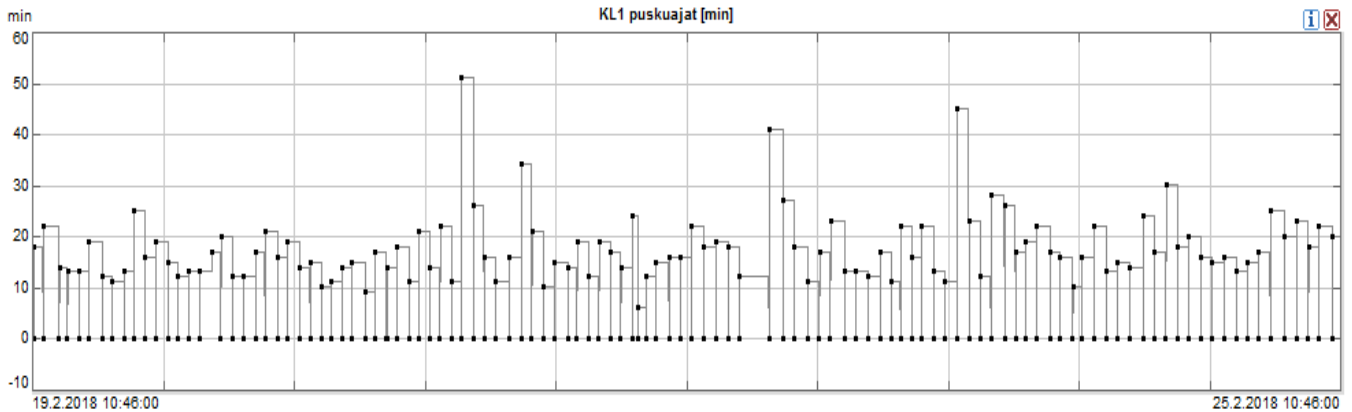
Tyhjennyksen jälkilaimennus ruudukkoon säädetään aikaa, minkä laimennukset vielä toimivat tyhjennyksen jälkeen. Tällä pyritään jäähdyttämään linjat seuraavaa tyhjennystä varten.

Taulukko 5. Keittimien 6 ja 7 parametrit ennen koeajoja (Honeywell Experion)

641D344PK67 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN6,7						
ylä-pohja						
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]		
> 93.0	180	0.50	75	30	TYHJENNYKSEN AIKAINEN KIERRÄTYS 	
> 94.0	190	0.45	70	35		
> 95.0	200	0.40	65	40		
> 96.0	220	0.30	60	45		
> 97.0	230	0.25	55	50		
> 98.0	240	0.20	50	55		
> 99.0	250	0.15	45	60		
Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]		
> 250	4.8	100	100	50	50	92
> 190	4.8	120	100	60	40	92
> 140	4.8	150	100	70	30	92
> 110	4.8	180	100	75	25	92
> 80	4.8	200	100	70	30	92
> 30	4.8	180	100	30	70	92
> 10	4.8	120	100	30	70	92

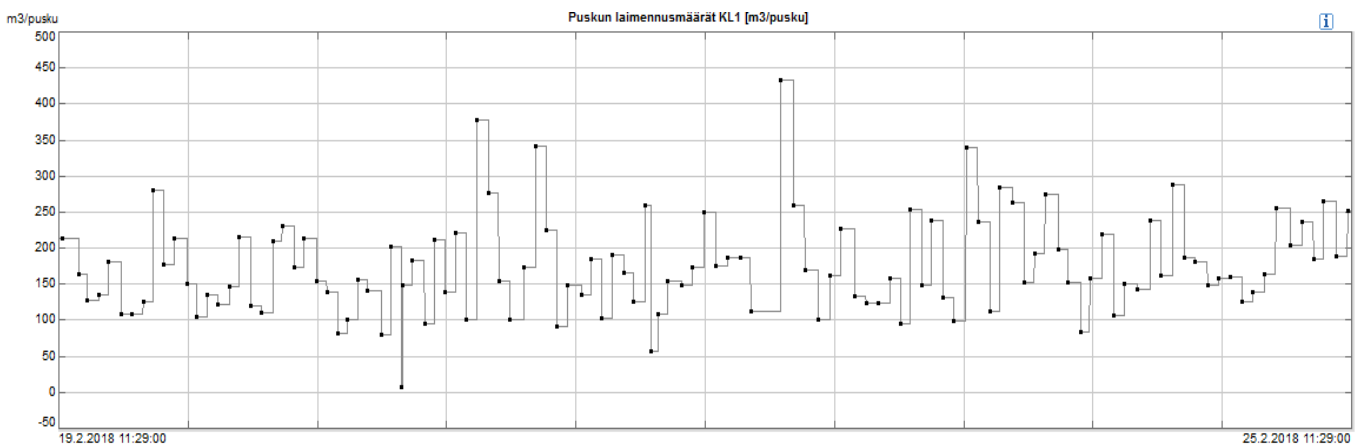
Keittimien 6 ja 7 taulukko on samanlainen kuin KL1 olevien keittimien, mutta siinä ei ole jälkilaimennus mahdollisuutta. Tässä taulukossa muutokset vaikuttavat kumpaankin keittimeen ja keittimien puskulaimennuksia ei voi säätää keitin kohtaisesti.

Lähtötilanteesta otettiin viikon seuranta niin laimennuslipeämäärissä, kuin myös tyhjennysajoissa. Seuranta viikolla tehdas toimi normaalisti, eikä ulkoisia vaikutteita keittimien toimintaan ollut.



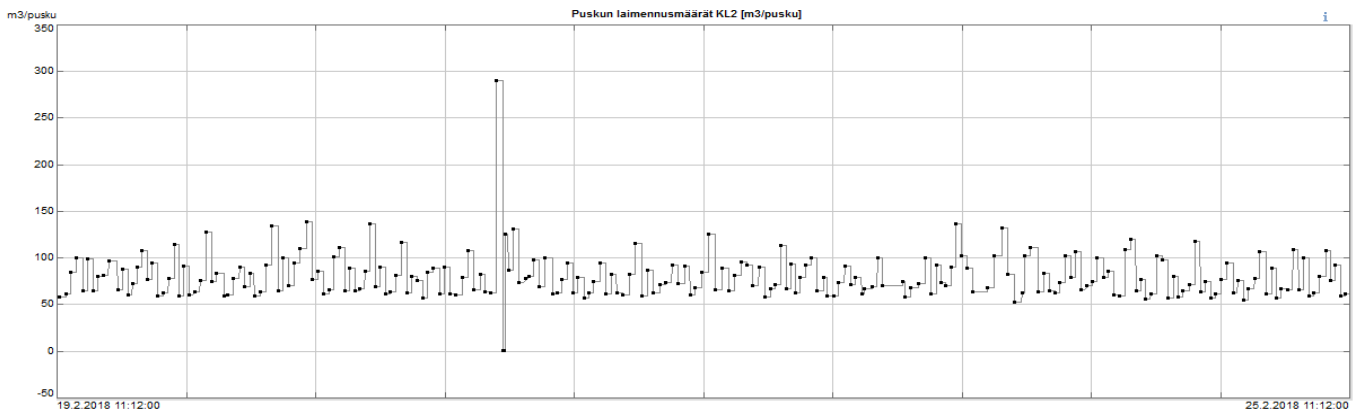
KAAVIO 1. KL1 puskuajat ajalta 19.2.-25.2.2018 (Savcron Wedge)

Kaaviosta 1 huomataan kuinka Kuitulinja 1, eli keittimien 1-4 puskuajoissa on hajontaa ja jotkut keittimet ovat tehneet pitkiä tyhjennyksiä. Hajonta on tyhjennyksissä normaalia, mutta se pitäisi minimoida ja pitkät tyhjennykset poistaa.

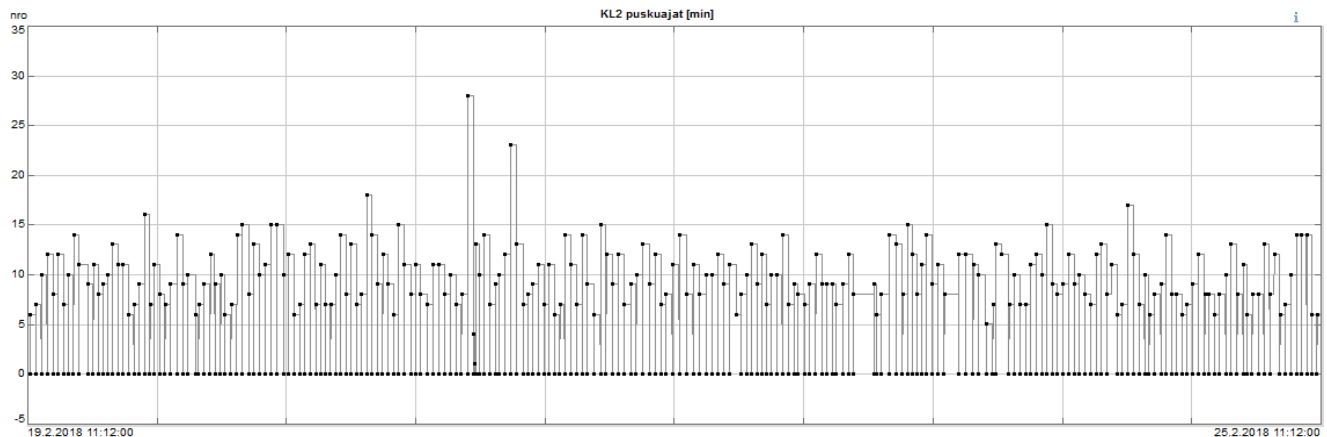


KAAVIO 2. KL1 Puskun laimennusmäärät ajalta 19.2.-25.2.2018 (Savcron Wedge)

Kaaviossa 2 näkyy puskun laimennusmäärät samalta ajalta kuin kaavion 1 puskuajat. Kaaviosta huomataan kuinka laimennusmäärät noudattelevat puskuajojen kanssa, ja pitkät tyhjennykset nostavat laimennuslipeän määrää.



KAAVIO 3. KL2 keittimien puskuajat ajalta 19.2-25.2.2018 (Savcron Wedge)



KAAVIO 4. KL2 puskun laimennusmäärät ajalta 19.2 – 25.2.2018 (Savcron Wedge)

Kaaviossa 3 ja 4 näkyvät koko kuitulinja 2 puskuajat ja laimennusmäärät samalta ajankohdalta. Tälläkin linjalla huomataan hajonta puskuajoissa ja sen vaikutuksesta laimennusmääriin. Tuloksia analysoitaessa täytyy ottaa huomioon vain keittimet 6 ja 7, koska niihin tehdään muutokset koeajoissa.

5.3 Pitkä koeajo


Ensimmäinen koeajo suoritettiin 5.3.2018 – 11.3.2018. Tässä koeajossa keittämölle annettiin vain yksi koeajomalli molemmille linjoille. Koeajossa kuitulinja 2 oli ajossa massa, jonka kuusipitoisuus oli korkea.

Koeajossa keittämölle vietiin vihko, johon kirjoitettiin huonosti tyhjentyneen keittimen tiedot, sekä kerättiin huomioita parametrien muutoksista prosessiin. Tätä tietoa hyödynnettiin myöhemmissä koeajoissa.

Taulukko 6. Muutokset 1 KL1 keittimille (Honeywell Experion)

641D344PK1 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN1				
ylä-pohja				
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]
> 93.0	180	0.50	70	30
> 94.0	190	0.45	65	35
> 95.0	200	0.40	60	40
> 96.0	220	0.30	55	45
> 97.0	230	0.25	50	50
> 98.0	240	0.20	45	55
> 98.0	250	0.15	40	60

TYHJENNYKSEN
AIKAINEN
KIERRÄTYS



TYHJENNYKSEN
JÄLKILAIM.

30 s

Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
> 280	4.8	120	80	40	60	91
> 210	4.8	120	90	40	60	91
> 150	4.8	180	100	50	50	91
> 110	4.8	200	100	50	50	91
> 80	4.8	200	100	60	30	91
> 30	4.8	190	100	60	30	91
> 10	4.8	180	80	40	40	91


Ylemmässä taulukossa muutokset tehtiin lämpötila osioon. Lämpötilaa nostettiin asteella, koska pieni lämpötila heitto siirtää muuten puskulaimennuksien ohjauksen ylempään taulukoon. Puskut halutaan tehdä alemman taulukon mukaisesti, jolloin tyhjennys on hallinnassa, eikä tyhjennysvauhtia tarvitse rajoittaa. Ylemmän taulukon lämpötilat eivät voi kuitenkaan olla liian korkealla, sillä silloin kuumaa puskuja ei ehdittäisi jäähdyttää riittävästi.

Alemmassa taulukossa nostettiin painorajaa, jolloin ohjelma ajaa taulukon mukaan jo suuremmalla keitinpainolla. Taulukossa muutettiin myös laimennuksien virtauksia, puskuventtiiliin ja laimennusventtiilien kulmia. Tässä koeajossa ajettiin alussa enemmän alalaimennus painotteisesti ja lopussa ylälaimennuspainotteisesti.

Taulukko 7. Muutokset 1 keittimille 6-7 (Honeywell Experion)

641D344PK67 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN6,7				
ylä-pohja				
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]
> 93.0	180	0.50	75	30
> 94.0	190	0.45	70	35
> 95.0	200	0.40	65	40
> 96.0	220	0.30	60	45
> 97.0	230	0.25	55	50
> 98.0	240	0.20	50	55
> 99.0	250	0.15	45	60

**TYHJENNYKSEN
AIKAINEN
KIERRÄTYS**



Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
> 250	4.8	100	85	60	40	91
> 190	4.8	120	90	60	40	91
> 140	4.8	120	100	60	50	91
> 110	4.8	180	100	80	50	91
> 80	4.8	200	100	50	50	91
> 30	4.8	180	100	50	50	91
> 10	4.8	150	80	40	50	91

Keittimille 6-7 haluttiin myös sama lämpötila ero ylemmän ja alemman taulukon välillä, mutta näissä keittimissä muutettiin alemman taulukon lämpötiloja asteella alaspäin. Myös virtausta, puskuventtiilin ja laimennusventtiilien kulmia muutettiin.

Puskuventtiiliä kuristettiin hieman alussa ja lopussa, sekä laimennuksia ajettiin alussa ylälaimennuspainotteisesti. Laimennuksia myös tasoitettiin, koska venttiilit eivät pysty nopeisiin muutoksiin tyhjennyksen aikana.

5.4 Lyhyt koeajo

Lyhyessä koeajossa tehtiin aluksi yksi parametrimuutos, jota seurattiin ja muutettiin tilanteen mukaan. Koeajot aloitettiin 14.3.2018 ja seuranta lopetettiin 25.3.2018. Puskuta-
pahtumaa seurattiin keitin kohtaisesti ja katsottiin, kuinka tyhjennystapahtuma käyttäytyy muutoksilla. Tyhjennyksistä ei kerätty pidempää tilastoa vaan muutoksia tehtiin useampia viikossa.

Taulukko 8. Muutokset 2 KL1 keittimille (Honeywell Experion)

641D344PK1 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN1							
ylä-pohja					TYHJENNYKSEN AIKAINEN KIERRÄTYS		
	Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]		
>	93.0	180	0.50	70	30		
>	94.0	190	0.45	65	35		
>	95.0	200	0.40	60	40		
>	96.0	220	0.30	55	45		
>	97.0	230	0.25	50	50		
>	98.0	240	0.20	45	55		
>	98.0	250	0.15	40	60		
					TYHJENNYKSEN JÄLKILAIM.		
					30 s		
	Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
>	280	4.8	120	90	40	50	91
>	210	4.8	120	100	40	50	91
>	150	4.8	180	100	50	50	91
>	110	4.8	180	100	50	50	91
>	80	4.8	200	100	50	50	91
>	30	4.8	190	90	40	60	91
>	10	4.8	180	80	30	60	91

Muutoksia tehtiin painottamalla lopussa alalaimennuksiin, sillä niillä vaikuttaa olevan merkittävin vaikutus keittimien loppuvaiheen tyhjenemiseen. Lisäksi venttiilien suhdetta toisiinsa purkutapahtuman alussa tasoitettiin, koska ne eivät ehdi nopeisiin muutoksiin tyhjennyksen aikana. Virtauksissa pyrittiin etsimään sopivaa määrää, jotta laimennukset saadaan tasaiseksi tyhjennyksissä.

Virtausten määrä pidettiin suurena vielä ensimmäisessä koeajossa, koska tarkkailtiin tyhjeneekö keitin paremmin suuremmilla virtauksilla. Virtausten lisäämien voi kasvattaa laimennuslipeän määrää, jos tyhjenemisajassa ei tapahdu muutosta.


Taulukko 9. Muutokset 2 keittimille 6 ja 7 (Honeywell Experion)

641D344PK67 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN6,7

ylä-pohja

	Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]
>	93.0	180	0.50	75	30
>	94.0	190	0.45	70	35
>	95.0	200	0.40	65	40
>	96.0	220	0.30	60	45
>	97.0	230	0.25	55	50
>	98.0	240	0.20	50	55
>	99.0	250	0.15	45	60

TYHJENNYKSEN
AIKAINEN
KIERRÄTYS




	Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
>	250	4.8	120	90	60	50	91
>	190	4.8	120	100	60	50	91
>	140	4.8	180	100	60	50	91
>	110	4.8	200	100	80	50	91
>	80	4.8	200	100	70	60	91
>	30	4.8	180	90	60	70	91
>	10	4.8	150	80	40	60	91

Keittimillä 6 ja 7 tarkasteltiin laimennusventtiilikulmien vaikutuksia tyhjennyksen erivaiheissa, sekä virtaukseen ja puskuventtiiliin tehtiin pieniä muutoksia. Muutoksilla yritetään hakea optimaalista ja järkevää suhdetta venttiilien ja virtauksien välillä.

Toinen koeajo aloitettiin ajamalla puskulaimennuksia ylempien taulukoiden perusteella ja niitä muutettiin seurannan mukaan. Suurimmat muutokset tapahtuivat virtauksissa ja laimennusventtiilien asennoissa. Keittimillä 6 ja 7 haluttiin pienentää virtauksia mahdollisimman paljon, jotta laimennuslipeä määrissä päästäisiin alaspäin.

Koeajoissa huomattiin myös, että kuitulinja 1 keittimien puskut tulevat heti alussa kuumina, jolloin ohjelma ajaa venttiilejä ylempään taulukon mukaan. Tämä voi johtua huonoista syrjäytyksistä, tai höyryventtiilien vuotamisesta. Näissä keittimissä nostettiin purkuputken tulevan laimennuksen venttiilikulmaa suuremmaksi, silloin kun massan lämpötila on 93-94°C

Taulukko 10. Kolmannet muutokset KL1 keittimillä (Honeywell Experion, Enocell)

641D344PK2 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN2						
ylä-pohja					TYHJENNYKSEN AIKAINEN KIERRÄTYS	
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]		
> 93.0	180	0.50	80	40		
> 94.0	190	0.45	70	40		
> 95.0	200	0.40	60	40		
> 96.0	220	0.30	55	45		
> 97.0	230	0.25	50	50		
> 98.0	240	0.20	45	55		
> 99.0	250	0.15	40	60		
					TYHJENNYKSEN JÄLKILAIM.	
					<input type="text" value="30 s"/>	
Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
> 250	4.8	100	90	30	50	91
> 210	4.8	110	100	30	50	91
> 150	4.8	120	100	50	50	91
> 110	4.8	150	100	50	50	91
> 80	4.8	160	100	50	50	91
> 30	4.8	160	100	40	50	91
> 10	4.8	150	90	40	50	91


Laimennuksen virtauksia pienennettiin alemmassa taulukossa ja ylempään taulukkoon muutettiin lämpötilojen 93°C ja 94°C puskuventtiilin ja puskuputkeen tulevaa laimennusta suuremmaksi. Näillä pyrittiin saamaan kuumat puskut paremmin hallintaan, mutta kuitenkin siten, että keitin tyhjenee mahdollisimman tehokkaasti.

Virtausten pienentäminen voi aiheuttaa sen, että massa ei jäähdy tarpeeksi ja pusku tulee kuumana. Tyhjennyksissä on kuitenkin huomattu, että massa tulee kuumana heti tyhjennyksen alkuvaiheessa. Tällöin virtausten määrällä ei ole suurta merkitystä, sillä laimennuslipeää pumppaava pumppu ei pysty lisäämään niin paljoa laimennusta, että massa ehtisi jäähtyä.

Taulukko 11. Muutokset 3 keittimiin 6 ja 7 (Honeywell Experion, Enocell)

641D344PK67 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN6,7					
ylä-pohja					
	Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]
>	93.0	180	0.50	75	30
>	94.0	190	0.45	70	35
>	95.0	200	0.40	65	40
>	96.0	220	0.30	60	45
>	97.0	230	0.25	55	50
>	98.0	240	0.20	50	55
>	99.0	250	0.15	45	60


TYHJENNYKSEN
AIKAINEN
KIERRÄTYS



	Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
>	250	4.8	110	100	50	50	91
>	190	4.8	120	100	50	50	91
>	140	4.8	120	100	50	50	91
>	110	4.8	180	100	50	50	91
>	80	4.8	180	100	40	50	91
>	30	4.8	150	90	40	50	91
>	10	4.8	150	80	40	50	91

Keittimillä 6 ja 7 haettiin virtausten pienentämistä ja tarkasteltiin sen vaikutuksia tyhjennyksissä. Myös laimennusventtiili kulmia muutettiin näissä keittimissä, koska havaittiin että ne eivät nouse kovin suuriksi muutoksista huolimatta. Ylempään lämpötila taulukoon ei näillä keittimillä ole tarvetta puuttua, sillä massan lämpötila pysyy alle 93 °C koko tyhjennyksen ajan.

Taulukko 12. Muutokset 4 KL1 keittimiin (Honeywell Experion)

641D344PK4 - PUSKULAIMENNUS TAULUKKO, KEITIN4						
ylä-pohja					TYHJENNYKSEN AIKAINEN KIERRÄTYS	
Lämpötila [°C]	Virtaus [l/s]	Suhde [0-1]	Puskuv. [%]	Ala laim. [%]		
93.0	180	0.50	80	40		
94.0	190	0.45	70	40		
95.0	200	0.40	60	40		
96.0	220	0.30	55	45		
97.0	230	0.25	50	50	TYHJENNYKSEN JÄLKILAIM. <input type="text" value="30 s"/>	
98.0	240	0.20	45	55		
99.0	250	0.15	40	60		
Paino [ton]	Sakeus [%]	Virtaus [l/s]	Puskuv. [%]	Ylä laim. [%]	Ala laim. [%]	Lämpötila [°C]
250	4.8	100	90	30	50	91
210	4.8	110	100	30	50	91
150	4.8	120	100	50	50	91
110	4.8	150	100	50	50	91
80	4.8	150	100	50	50	91
30	4.8	160	100	50	40	91
10	4.8	160	90	50	40	91

Muutoksilla pyritään löytämään virtauksille ja laimennusventtiileille sopivaa suhdetta. Suuria muutoksia ei enää tehty, vaan hienosäädettiin venttiilejä. Virtauksia tasoitettiin ja seurattiin, onko merkitystä ajaa kovempaa virtausta alussa, keskivaiheella vai tyhjennyksen lopussa.

6 TULOKSIEN TUTKINTA JA ANALYSOINTI

Tuloksia tarkasteltiin Savcron Wedge ohjelmistolla, josta seurattiin tilastoja ennen koeajojen alkamista ja koeajojen aikana. Tulokset syötettiin Exceliin ja sen avulla laskettiin laimennuslipeän kulutuksen ja puskuajojen keskiarvo ja keskihajonta.

Kuitulinja 1 keittimillä, eli keittimet 1-4 laskettiin kaikkien keittimien yhteiset keskiarvot ja keskihajonnat. Pitkässä koeajossa tuloksia vertailtiin viikkoon, jolloin keittämöllä on ollut tasainen ajotilanne. Lyhyessä koeajossa tuloksia vertailtiin puskulaimennus muutoksien välillä. Keittimistä kerättiin myös keitin kohtaiset tilastot pitkältä koeajo viikolta, joita vertailtiin tilastoihin ennen puskulaimennus investointia.

Keittimillä 6 ja 7 tulokset laskettiin molemmille keittimille erikseen ja niitä vertailtiin muihin kuitulinja 2 keittimiin. Näillä keittimillä voidaan vertailla tyhjennyksiä samalta ajankohdalta.

6.1 Pitkä koeajo

Pitkä koeajo sijoittui ajanjaksolle, jossa kuitulinja 2 keittimillä keitossa oli korkealla kuusipitoisuudella oleva massa. Pitkän koeajon tavoitteena oli saada tilastoa puskulaimennus muutoksien ja investoinnin vaikutuksesta keittimien tyhjenemiseen.

Taulukko 13. Tulokset ja vertailut KL1 keittimillä (Liite 1)

	Koeajo 5.3 – 11.3.2018	Vertailu 19.2 – 25.2.2018
Puskuaikojen keskiarvo (min)	17	18
Puskuaikojen keskihajonta (min)	6	7
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	173	173
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	57	66

Tuloksissa päästiin siihen mitä koeajoissa tavoiteltiin. Puskuajoissa tultiin alaspäin ja laimennuslipeämäärän keskihajontaa saatiin pienentyä. Tulokset eivät kuitenkaan anna todellista kuvaa puskuista ja parametri muutoksien vaikutuksesta niihin, sillä erot ovat melko pienet ja muutama huonosti tyhjentävä keitin voi muuttaa keskiarvoja.

Taulukko 14. KL1 koeajon tulokset keittimittäin (liite 1)

	Keitin 1	Keitin 2	Keitin 3	Keitin 4
Puskuaikojen keskiarvo (min)	17	16	18	14
Puskuaikojen keskihajonta (min)	6	6	4	4
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	168	172	192	157
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	49	42	46	50

Suurimmat muutokset ovat tapahtuneet laimennuslipeämäärien keskiarvoissa, kun investoinnin jälkeisiä arvoja verrataan taulukon 1 arvoihin. Keittimillä 1,2 ja 4 on tultu hieman alaspäin myös puskuaikojen keskiarvoissa. Keittimen 3 tiedettiin tyhjentävän huonommin jo ennen koeajoja, joka huomataan myös tuloksissa.

Taulukko 15. Tulokset ja vertailut KL2 keittimillä ajalta 5.3.2018 - 11.3.2018 (Liite 2)

	Koeajot K6	Koeajot K7	Keitin 5	Keitin 8	Keitin 9	Keitin 10
Puskuaikojen keskiarvo (min)	14	9	16	14	11	16
Puskuaikojen keskihajonta (min)	3	2	5	2	3	8
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	119	73	135	119	92	150
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	25	10	47	27	28	96

Muutoksilla ei päästy tavoite tuloksiin, sillä keittimien välillä erot ovat liian suuret. Keittimellä 7 päästiin vertailu keittimien alapuolelle, mutta keittimen 6 tulokset eivät eroa vertailu keittimistä.

Tulokset ovat kuitenkin merkittäviä, sillä parametrit ovat samanlaiset keittimessä 6 ja 7, mutta erot ovat silti selkeät. Tulokset antavat viitettä siihen, että keittimissä on eroavaisuuksia, tai laimennusparametri muutoksilla ei ole vaikutusta keittimien purku vaiheeseen. Keittovaiheen muut tapahtumat vaikuttavat myös suuresti siihen, kuinka keitin tyhjenee.

Keitintä 6 ja 7 kun vertaillaan taulukon 2 tuloksiin, havaitaan että tuloksissa on tultu merkittävästi alaspäin. Koeajossa keitossa oli kuusipitoinen massa, joka tyhjenee keittimissä huonommin. Korkea kuusipitoisuus koeajoissa näkyy muilla keittimillä korkeammilla arvoilla kuin tuloksissa ennen investointia

6.2 Lyhyt koeajo

Lyhyessä koeajossa muutoksia tehtiin useampia viikonaikana. Tyhjennyksissä vertailtiin vain koeajomuutoksia toisiinsa, ja tarkasteltiin millä tuloksilla on saatu parhaita arvoja lyhyellä aikavälillä.

Taulukko 11. Lyhyen koeajon tuloksia KL1 keittimillä (Liite 3)

	Muutos 2	Muutos 3	Muutos 4
Puskuaikojen keskiarvo (min)	13,8	15,4	16,3
Puskuaikojen keskihajonta (min)	4,3	4,5	5
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	132,3	147	153,7
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	41,8	60	61

Koeajon tuloksista havaitaan, että lyhyellä aikavälillä muutokset 2 ovat olleen parhaat. Muutoksissa 2 ajettiin laimennuslipeää suuremmalla virtauksella keittimeen. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että virtauslitrojen nostaminen ei vähennä laimennuslipeä

määrän kulutusta. Laimennusmäärien eroa selittää puskuajkojen pidentyminen muutoksissa 3 ja 4. Puskuajkojen pidentyessä myös laimennusta menee tyhjennyksissä enemmän.

Taulukko antaa viitettä siihen, että laimennuslipeän virtausta kannattaa ajaa keittimiin enemmän tyhjennyksen aikana, jolloin keittimet saadaan tyhjenemään nopeammin. Muutoksissa 3 ja 4 virtausten määrää on pienennetty ja jokainen seuratuista arvoista on nousut.

Taulukko 12. Toisen koeajon tuloksia keittimillä 6 ja 7 (Liite 4)

	K6 muutos 2	K6 muutos 3	K7 muutos 2	K7 muutos 3
Puskuajkojen keskiarvo (min)	11,3	11,9	9	8
Puskuajkojen keskihajonta (min)	0,5	1,5	1,5	0,6
Laimennuslipeämäärän keskiarvo (m ³ /pusku)	107	92,5	81	64,8
Laimennuslipeämäärän keskihajonta (m ³ /pusku)	3	4,7	12,3	6,8

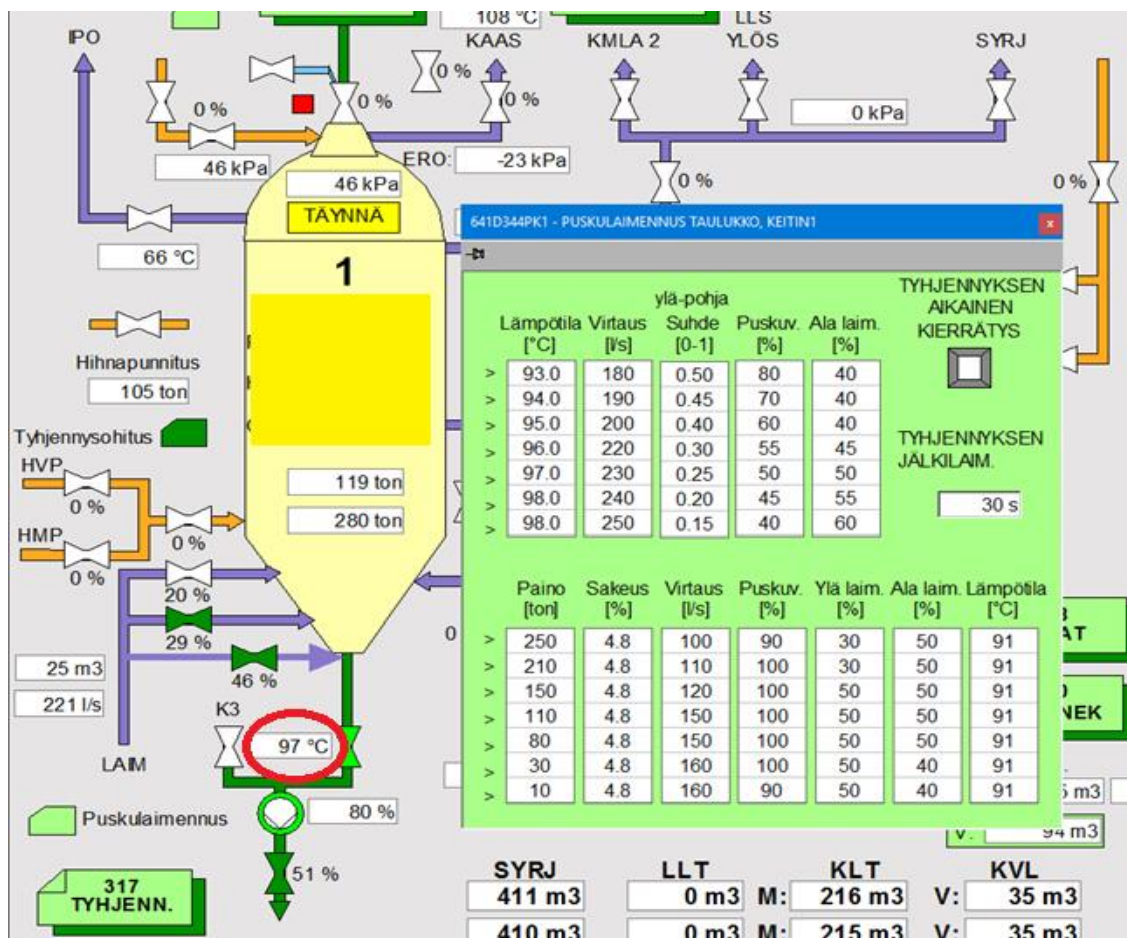
Lyhyt koeajo tukee ensimmäistä ja siitä havaitaan samoja asioita. Keitin 7 tyhjentää paremmin kuin keitin 6, vaikka molemmissa on samat parametrit. Muutoksilla ei saavutettu merkittäviä eroja puskuajoissa kummallakaan keittimellä, mutta laimennusmäärissä molemmilla keittimillä on tultu alaspäin muutoksien 3 myötä.

6.3 Huomioita koeajoista

Merkittävä asia kuitulinja 1 keittimien tyhjentämisessä on kuumat puskut. Monessa tyhjennyksessä keitin on jäänyt kuumaksi, jolloin tulevan massan lämpötila on yli 93 °C lähes koko tyhjennyksen ajan. Puskuvaiheessa lämpötilaan voidaan vaikuttaa laimennuk-

silla, mutta monessa tilanteessa keittimeen tulevat laimennukset ovat riittämättömät jäähdyttämään massaa tarpeeksi. Tehokkain tapa hallita lämpötilaa on purkuputkeen tuleva laimennus, joka avautuu vasta kun pusku tulee jo kuumana.

Purkuputkeen tulevaan laimennuslinjaan olisi hyvä tehdä mahdollisuus ajaa sitä myös silloin, kun keitin tyhjentää alemman taulukon mukaan, eli keittimen massan perusteella. Tällöin pystyttäisiin tehokkaammin vaikuttamaan tulevan massan lämpötilaan ja hallitsemaan sitä paremmin tyhjennyksissä.



Kuva 5. Esimerkki kuva kuumasta puskuista (Honeywell Experion)

Kuvassa 5 punaisella ympyröity alue ilmoittaa puskun lämpötilan. Kun tämä lämpötila nousee yli 93 °C, siirtyy ohjelma ajamaan tyhjennystä ylempään taulukon perusteella. Kuumat puskut johtuvat siitä, että keittimen syrjäytysvaihe ei toimi oikein tai keittimessä olevat höyrylinjat vuotavat.

7 YHTEENVETO

Lyhyellä aikavälillä saadaan eroja tyhjennyksiin puskuparametreja säätämällä, mutta pitkässä ajassa erot tasoittuvat. Muutoksilla ei saatu poistettua yksittäisiä pitkiä keittoja, jotka sotkevat koko keittämön toimintaa.

Kuitulinja 1 keittimillä, monet puskuista tulivat kuumina. Kuumat puskut haittaavat keittimen tyhjentämistä ja lisäävät merkittävästi laimennuslipeän tarvetta. Tulevaisuudessa tälle linjalle olisi hyvä tehdä mahdollisuus ajaa purkuputkeen tulevaa laimennusta myös keitinpainon mukaan ajattaessa, jolloin lämpötilan hallinta olisi helpompaa tyhjennysvaiheessa.

Kuitulinja 1 keittimille saatiin parhaat tulokset lyhyen aikavälin koeajoilla. Koeajoissa huomattiin, että virtausten pienentäminen tyhjennyksissä ei vähennä laimennuslipeä määriä. Lyhyen koeajon perusteella laimennuksen virtauksen ollessa suurempi, myös keitin on tyhjentynyt lyhemmässä ajassa ja pienemmällä laimennusmäärällä. Parhaat tulokset saavutettiin lyhyessä koeajossa muutoksilla 2.

Keittimillä 6 ja 7 tehtiin havaintoja, että keittimet tyhjenevät eri tavalla. Näillä keittimillä pitäisi tarkistaa keiton aikaisemmat vaiheet, että löytyykö niistä eroja, sekä katsoa keittimen sisään ja tutkia onko laimennuslinjoissa jokin rakenteellinen ero. Keittimessä 7 saatiin säädettyä pusku-aika ja laimennusmäärät alle vertailu keittimien. Keitin 6 teki jokaisessa koeajossa pidempiä puskuja, kuin keitin 7, sekä puskuajat ja laimennuslipeämäärät olivat lähes samanlaisia kuin vertailukeittimien.

Keittimillä 6 ja 7 ovat tulokset muuttuneet merkittävästi investoinnin jälkeen. Molemissa keittimissä on tultu alaspäin puskuajoissa ja laimennuslipeämäärien käytössä. Kuitulinja 1 keittimillä merkittävimmät muutokset ovat tapahtuneet laimennuslipeämäärien keskihajonnassa, jossa on päästy parempiin tuloksiin, kuin ennen puskulaimennusinvestointia.

LÄHTEET

Nils-Erik Virkola. 1983. Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja. Puumassan valmistus. Turku: Oy Turun Sanomat

Seppälä, M. Klementti, U. Kortelainen, V-A. Lyytikäinen, J. Siitoinen, H. & Sironen, R. 2001. Kemiallinen metsäteollisuus 1. Paperimassan valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Hägglom Ingmar. & Ranta Veikko. 1977. Sellun valmistus. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.

KnowPulp. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Luettu: 20.2.2018.
http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/cooking/1_process/1_principle/frame.htm

KnowPap. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö. Luettu: 18.2.2018.
<http://www.knowpap.com/suomi/>

EnoMaster. Sellutehtaan ja automaation oppimisympäristö Enocellin sellutehtaalla. Luettu: 25.2.2018.

Enocell tehdasesite. Stora Enso Oyj Enocellin sellutehdas. Luettu: 24.1.2018

Stora Enso. Luettu: 10.1.2018.
<http://www.storaenso.com/lang/finland/about/Pages/stora-enso-brief.aspx>

Kainulainen Jaana. 25.10.2017. Jättipotti Uimaharjuun. Stora Enso investoi 52 miljoonaa euroa Enocellin tehtaaseen. Luettu: 10.1.2018.
<https://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/talous/item/159896-jattipotti-uimaharjuun-stora-enso-investoi-52-miljoonaa-euroa-enocellin-tehtaaseen>

Metsäyhdistys. Sulfaattisellu (kraft pulp). Luettu: 24.1.2018.
<https://www.smy.fi/sanasto/sulfaattisellu-kraft-pulp/>

Ignatius, P. 2017-2018. Käyttöpäällikkö. Stora Enso Oyj Enocellin tehdas. Palaveri. 21.12.2017, 16.2.2018, 23.2.2018

Niemi, V. 2017-2018. Osastoinsinööri. Stora Enso Oyj Enocellin tehdas. Palaveri. 21.12.2017, 16.2.2018, 23.2.2018

LIITTEET

1(6)

Liite 1. Tulokset ja vertailut KL1 keittimillä

KL1 keittimet ajalta 5.3 - 11.3 KOEAJO			
Tim	Puskun laimennusmäärät KL1 [n m ³ /pusku	KL1 puskuajat [min] min	
#	214,6953539	19	Puskuaikojen keskiarvo
#	153,8613247	18	16,521
#	238,9570834	19	
#	119,7758638	12	Puskuaikojen keskihajonta
#	152,1826208	15	5,286
#	162,1447693	15	
#	115,133896	12	Laimennusmäärien keskiarvo
#	95,33194084	10	172,66
#	219,1889438	20	
#	208,9483846	20	Laimennusmäärien keskihajont
#	226,1646817	19	57,07
#	204,8254756	18	
#	234,0617418	22	
#	229,4137682	22	
#	160,1174763	18	
#	207,1215963	18	
#	119,4909311	11	
#	180,9974268	18	
#	151,0054367	14	
#	139,3456167	14	
#	203,7519731	19	
#	230,8369203	22	
#	89,72848297	10	
#	107,8981448	11	
#	192,0315284	22	
#	317,3756577	28	
#	97,48003023	10	
#	168,8857864	16	
#	250,6876845	20	
#	272,139906	24	
#	127,680304	12	
#	108,6055154	12	
#	189,0481819	21	
#	230,6797884	20	
#	244,2711129	20	
#	98,65930481	10	
#	183,4302493	18	
#	146,5832558	15	
#	89,37903374	10	
#	174,6572452	16	
#	128,8304552	13	
#	1,389162269	1	
#	129,798121	13	
#	185,1949507	17	

2(6)

#	273,4478705	39		
#	114,9957074	12		
#	108,841382	11		
#	144,9203185	14		
#	216,7930325	18		
#	158,3784018	15		
#	227,2043935	19		
#	137,9018626	13		
#	194,4962238	19		
#	161,6520355	15		
#	87,55441681	10		
#	121,0946445	12		
#	226,91657	19		
#	101,8888757	11		
#	178,4217213	17		
#	81,38109444	8		
#	170,0532729	18		
#	279,3659888	23		
#	215,9793983	21		
#	158,7156963	15		
#	243,1169037	20		
#	142,1069172	13		
#	161,0903526	16		
#	219,5620835	19		
#	108,2920576	11		
#	123,6213377	11		
#	218,1504895	22		
#	99,85440022	10		
#	115,8014983	12		
#	169,5880061	17		
#	145,718757	15		
#	90,17483826	9		
#	122,5104121	12		
#	209,1007109	18		
#	274,0691238	26		
#	147,8426683	14		
#	184,9538759	18		
#	145,8113416	14		
#	217,6107246	22		
#	237,9911884	20		
#	146,1027691	14		
#	112,8320549	11		
#	187,282901	22		
#	139,8949422	14		
#	172,0079829	19		
#	160,9513053	16		
#	239,6641698	22		
#	122,5056644	12		
#	260,584972	22		
#	124,6738673	12		

3(6)

#	148,0139619	15			
#	161,5132471	15			
#	199,6556973	19			
#	129,8751457	12			
#	235,2502864	21			
#	101,299755	10			
#	175,625029	16			
#	119,584402	13			
#	141,7433045	14			
#	106,4682996	12			
#	218,1541547	19			
#	137,5218031	13			
#	249,7981837	22			
#	215,0385649	19			
#	317,8263886	34			
#	173,5106423	15			
#	176,2120626	17			
#	212,3459613	18			
#	159,5981918	15			
#	158,3520241	15			
#	289,6796733	28			
#	222,5002867	18			
#	246,8172647	27			

4(6)

KL1 puskut ajalta 19.2 - 25.2 VERTAILU			
Time	Puskun laimennusmäärät	KL1 puskuajat [min]	
	m ³ /pusku	min	
###	114,086662	18	Puskuajat keskiarvo
###	212,8557446	22	17,496
###	162,2207034	14	
###	126,5791374	13	Puskuajat keskihajonta
###	134,6070915	13	6,7601
###	179,3698211	19	
###	107,6154714	12	Laimennusmäärät keskiarvo
###	107,2146382	11	172,74
###	123,9077607	13	
###	278,8081935	25	Laimennusmäärät keskihajonta
###	176,2695124	16	65,97
###	212,4579997	19	
###	148,879119	15	
###	104,2635043	12	
###	134,0233462	13	
###	121,5910982	13	
###	213,9383702	20	
###	118,5378246	12	
###	109,5144781	12	
###	209,4132234	17	
###	230,3537402	21	
###	171,9893011	16	
###	211,8727422	19	
###	152,9358545	14	
###	137,1684013	15	
###	80,79549042	10	
###	99,8265612	11	
###	155,3131407	14	
###	139,1085473	15	
###	78,93087616	9	
###	200,3670474	17	
###	146,7173252	14	
###	181,6588477	18	
###	94,53164326	11	
###	211,0922397	21	
###	138,6198787	14	
###	220,3055629	22	
###	98,987467	11	
###	377,546003	51	
###	275,6842538	26	
###	152,808995	16	
###	99,27846674	11	
###	172,0218004	16	
###	341,2300891	34	
###	223,8046463	21	

5(6)

###	90,72207567	10		
###	147,3839529	15		
###	134,1849383	14		
###	184,6330966	19		
###	102,0577361	12		
###	188,7983533	19		
###	165,0648875	17		
###	124,2879372	14		
###	259,1905494	24		
###	56,79835098	6		
###	106,7077139	12		
###	152,8341158	15		
###	147,1964418	16		
###	171,7069676	16		
###	248,9426055	22		
###	173,9814597	18		
###	186,5994514	19		
###	185,217498	18		
###	110,6597044	12		
###	432,4171355	41		
###	257,812828	27		
###	169,4343673	18		
###	100,5354758	11		
###	160,9371721	17		
###	225,1166194	23		
###	131,6559858	13		
###	123,3043612	13		
###	123,3993773	12		
###	157,874171	17		
###	93,8461338	11		
###	252,5472645	22		
###	148,1033982	16		
###	237,2438756	22		
###	129,7498293	13		
###	97,26047035	11		
###	338,9588565	45		
###	234,5515002	23		
###	110,4215491	12		
###	284,1708632	28		
###	262,1069484	26		
###	151,0368498	17		
###	190,632984	19		
###	274,3010986	22		
###	198,165829	17		
###	150,7209326	16		
###	82,01888237	10		
###	157,3560313	16		
###	218,8005241	22		
###	106,0712976	13		
###	150,1878561	15		

6(6)

###	142,0135626	14		
###	236,6664573	24		
###	161,5273512	17		
###	288,0029184	30		
###	186,0889792	18		
###	179,6662255	20		
###	148,1084349	16		
###	157,8169482	15		
###	159,759326	16		
###	125,4188882	13		
###	138,9075879	15		
###	163,0825123	17		
###	254,7399295	25		
###	203,9243523	20		
###	235,9912422	23		
###	184,347274	18		
###	263,2221335	22		
###	112,9725613	12		

1(4)

Liite 2. Tulokset ja vertailut keittimillä 6 ja 7

Keitin 6 supreme 5.3 - 11.3 KOEAJO			
Puskun laimennus m3/puskunro	KL2 puskuaajat [min]		
123,5573	15	Puskuaajat keskiarvo	
124,214	15	14,22222	
98,47591	12		
142,6493	15	Puskuaajat keskihajonta	
95,89219	11	3,234732	
90,10454	12		
94,33349	12	Puskun laimennusmäärät keskiarvo	
134,5615	16	119,1483	
118,3387	13		
94,35609	12	Puskun laimennusmäärät keskihajonta	
107,8655	11	24,93807	
88,58371	11		
117,3325	27		
161,081	17		
133,8243	16		
128,6205	15		
94,50572	12		
128,824	14		
157,5489	19		
129,43	13		
122,8159	15		
93,98667	11		
94,79229	12		
145,307	15		
106,5398	13		
119,7699	15		
114,9519	15		
135,1209	14		
103,6632	13		
127,5209	13		
90,27775	11		
207,1576	22		
112,8866	14		
88,78553	11		
131,1808	15		
130,482	15		

Keitin 7 supreme 5.3 - 11.3 KOEAJO			
Puskun laim		KL2 puskuajat [min]	
m3/pusku	nro		
73,5848886	9	Puskuajat keskiarvo	
68,0102998	8	9,054054	
91,6309818	12		
68,9889573	9	Puskuajat keskihajonta	
70,3595219	8	1,809634	
61,004521	8		
59,8268481	7	Puskun laimennusmäärät keskiarvo	
69,387331	9	73,19945	
67,5915546	8		
75,2204162	9	Puskun laimennusmäärät keskihajonta	
78,5821115	9	9,62144	
67,147603	8		
62,9863815	8		
82,924354	9		
77,394084	10		
61,4605756	8		
79,6995323	10		
64,2705993	8		
68,116274	8		
78,0337605	10		
74,3762883	9		
60,8489932	7		
73,0518146	9		
93,7801556	9		
75,7942889	11		
74,8894482	9		
78,3058195	9		
80,604256	9		
69,456254	8		
71,7871378	18		
106,11184	10		
71,4377425	9		
68,4638367	8		
69,7232208	9		
61,0440038	8		
76,5759337	9		
75,907929	9		

3(4)

Keitin 8 vertailu 5-11.3				
Time	PUSKU KE	Puskun la	KL2 puskuaajat [min]	
		m3/pusku nro		
	641HS660.LSO			
#####	0,133333	82,61776	13	Puskuaika keskiarvo
#####	0,116667	84,39466	10	14,25
#####	0,116667	84,13951	16	
#####	0,5	82,06454	16	Puskuaika keskihajonta
#####	0,433333	227,041	23	2,394935
#####	0,35	104,3718	13	
#####	0,283333	115,8874	13	Laimennusmäärät keskiarvo
#####	0,316667	112,3802	13	118,9982
#####	0,366667	133,5304	13	
#####	0,083333	129,215	14	Laimennusmäärät keskihajonta
#####	0,883333	103,2945	12	26,44678
#####	0,5	103,7343	12	
#####	0,1	103,7015	13	
#####	0,85	119,7257	13	
#####	0,433333	157,3608	17	
#####	0,566667	108,4065	13	
#####	0,816667	105,8995	12	
#####	0,083333	153,1956	16	
#####	0,933333	112,7306	17	
#####	0,983333	115,2167	15	
#####	0,733333	109,9497	13	
#####	0,266667	118,9543	14	
#####	0,4	104,3155	13	
#####	0,45	163,0818	20	
#####	0,6	116,2296	13	
#####	0,666667	122,394	13	
#####	0,783333	107,848	12	
#####	0,183333	120,5169	14	
#####	0,383333	124,7907	14	
#####	0,4	129,4977	14	
#####	0,016667	106,0887	16	
#####	0,433333	105,8347	13	
#####	0,4	128,9661	15	
#####	0,766667	138,9325	15	
#####	0,183333	120,8403	14	
#####	0,016667	126,7856	16	

4(4)

Keitin 9 vertailu 5-11.3							
Time	PUSKU KEI	Puskun lai	KL2 puskuajat [min]				
		m3/pusku	nro				
	641HS810.LSO						
#####	0,633333	60,27678	6	Pusku aika keskiarvo			
#####	0,533333	69,90021	8	10,5			
#####	0,066667	67,31211	8				
#####	0,483333	65,33254	7	Pusku aika keskihajonta			
#####	0,2	90,09041	11	2,823372			
#####	0,1	94,26808	11				
#####	0,466667	83,80158	10	Laimennusmäärät keskiarvo			
#####	0,966667	93,56377	11	91,61911			
#####	0,233333	83,0127	10				
#####	0,716667	83,75913	10	Laimennusmäärät keskihajonta			
#####	0,05	75,85723	10	28,04965			
#####	0,7	76,30902	9				
#####	0,666667	91,23612	10				
#####	0,966667	78,05588	9				
#####	0,783333	93,31675	10				
#####	0,833333	87,75295	10				
#####	0,1	80,10944	10				
#####	0,533333	90,14168	11				
#####	0,566667	93,89159	11				
#####	0,6	115,6708	13				
#####	0,7	129,3088	13				
#####	0,416667	79,57353	10				
#####	0,983333	82,25647	10				
#####	0,783333	91,97291	10				
#####	0,616667	235,0222	25				
#####	0,25	81,88599	10				
#####	0,55	89,24474	11				
#####	0,616667	84,76568	10				
#####	0,433333	104,857	11				
#####	0,333333	92,25916	10				
#####	0,933333	81,0703	10				
#####	0,016667	87,00813	10				
#####	0,683333	107,2728	11				
#####	0,3	101,7192	11				
#####	0,933333	96,71069	10				
#####	0,316667	79,70156	11				

Liite 3. Toisen koeajon tuloksia KL1 keittimillä

KL1 puskut ajalta 14.3-15.3			
Time	Puskun laimennus m3/pusku min	KL1 puskuajat [min]	
#####	100,1643	11	Puskuaikojen keskiarvo
#####	111,9034	12	13,8
#####	109,5541	12	
#####	121,749	13	Puskuaikojen keskihajonta
#####	83,69953	10	4,250077
#####	144,9211	15	
#####	232,2256	26	Laimennusmäärien keskiarvo
#####	157,3568	18	132,2626
#####	142,5127	14	
#####	109,8807	11	Laimennusmäärien keskihajonta
#####	135,9946	14	41,80797
#####	220,3186	21	
#####	83,75475	9	
#####	113,3739	12	
#####	99,68208	10	
#####	122,1723	12	
#####	76,15438	9	
#####	156,5759	15	
#####	149,6419	14	
#####	173,6158	18	

2(3)

KL1 puskut ajalta 16.3-17.3			
Time	Puskun laimennusmäärät KL	KL1 puskuajat [min]	
	m3/pusku	min	
#####	75,30533295	10	Puskuajojen keskiarvo
#####	127,3724545	15	15,36842
#####	129,588923	13	
#####	100,0187119	13	Puskuajojen keskihajonta
#####	253,9717322	21	4,47475
#####	175,0202003	18	
#####	117,50538	12	Laimennusmäärien keskiarvo
#####	165,4446096	17	146,9864
#####	178,3392083	21	
#####	219,6859694	19	Laimennusmäärien keskihajonta
#####	67,95542519	9	59,93878
#####	134,6654275	15	
#####	207,1857962	17	
#####	125,2859335	15	
#####	229,1210238	20	
#####	228,4518771	24	
#####	108,4709319	14	
#####	98,23632156	12	
#####	51,11567299	7	

3(3)

KL1 puskut ajalta 20.3-21.3			
Time	Puskun laimennusmäärät KL	KL1 puskuajat [min]	
	m3/pusku	min	
#####	166,6965559	16	Puskuaikojen keskiarvo
#####	76,75829521	9	16,3
#####	201,5972783	25	
#####	172,7672794	20	Puskuaikojen keskihajonta
#####	159,5638023	15	5,048189
#####	130,7429645	15	
#####	158,3205533	15	Laimennusmäärien keskiarvo
#####	178,7357505	18	153,7432
#####	69,05270034	10	
#####	215,1128992	19	Laimennusmäärien keskihajonta
#####	128,9503889	14	61,26896
#####	86,61209606	11	
#####	64,56363092	10	
#####	157,6510957	18	
#####	287,293317	24	
#####	242,6756704	27	
#####	217,3979162	19	
#####	110,565461	13	
#####	169,7159815	16	
#####	80,09055119	12	

1(2)

Liite 4. Toisen koeajon tuloksia keittimillä 6 ja 7

Keitin 6 koeajo 2 14.3-15.3				
Time	PUSKU k	Puskun laimennus	KL2 puskuaajat [min]	
		m3/pusku	nro	
	641HS460.LSO			Puskuaajat keskiarvo
#####	0,3667	107,3424698	11	11,33333
#####	0,0167	104,5139048	12	
#####	0,35	112,8051026	12	Puskuaajat keskihajonta
#####	0,3667	106,6644533	11	0,516398
#####	0,5333	104,609922	11	
#####	0,4667	105,8073356	11	Laimennusmäärät keskiarvo
				106,9572
				Laimennusmäärät keskihajonta
				3,073555

Keitin 6 koeajo 3 19.3-20.3				
Time	PUSKU k	Puskun laimennus	KL2 puskuaajat [min]	
		m3/pusku	nro	
	641HS460.LSO			Puskuaajat keskiarvo
#####	0,4167	88,60053852	11	11,85714
#####	0,7333	93,58262695	11	
#####	0,6833	99,64448387	14	Puskuaajat keskihajonta
#####	0,7	88,60534378	11	1,46385
#####	0,7167	89,4658374	14	
#####	0,75	98,27523411	11	Laimennusmäärät keskiarvo
#####	0,0833	89,31322785	11	92,49818
				Laimennusmäärät keskihajonta
				4,748769

2(2)

Keitin 7 koeajo 2 14.3-15.3				
Time	PUSKU k	Puskun laimennus	KL2 puskuajat [min]	
		m3/pusku	nro	
	641HS610.LSO			Puskuajat keskiarvo
#####	0,05	76,96646988	9	9
#####	0,3667	89,42801491	9	
#####	0,3167	82,57644608	10	Puskuajat keskihajonta
#####	0,5667	98,35934898	11	1,527525
#####	0,5833	72,59098297	7	
#####	0,7333	85,9020932	10	Laimennusmäärät keskiarvo
#####	0,9333	60,51770968	7	80,90587
				Laimennusmäärät keskihajonta
				12,28371

Keitin 7 koeajo 3 19.3-.20.3				
Time	PUSKU k	Puskun laimennus	KL2 puskuajat [min]	
		m3/pusku	nro	
	641HS610.LSO			Puskuajat keskiarvo
#####	0,2167	58,39093689	8	8
#####	0,05	62,27386162	8	
#####	0,9333	66,22216187	8	Puskuajat keskihajonta
#####	0,35	64,86495667	8	0,632456
#####	0,9667	59,69335098	7	
#####	0,65	77,30230179	9	Laimennusmäärät keskiarvo
				64,79126
				Laimennusmäärät keskihajonta
				6,809834