

Hiomon energiankulutuksen optimointi ja
energiatehokkuuden seurannan kehittäminen

Juha-Matti Ypyä

Tekniikan ja liikenteen alan opinnäytetyö
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma
Insinööri (YAMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä	Juha-Matti Ypyä	Vuosi	2015
Ohjaaja	DI Jaakko Etto FT Soili Mäkimurto-Koivumaa, yliopettaja		
Toimeksiantaja	Stora Enso Oyj		
Työn nimi	Hiomon energiankulutuksen optimointi ja energiatehokkuuden seurannan kehittäminen		
Sivu- ja liitemäärä	66 + 5		

Tämän työn toimeksiantajana oli Stora Enso Oyj:n Veitsiluodon tehtaat. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää hiomon energiatehokkuutta ja parantaa energiatehokkuuden seurantaa. Lisäksi tavoitteena oli rakentaa seurantatyökalu, jonka avulla seurataan ja pienennetään energian kulutusta.

Opinnäytetyön tekemiseen käytettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta. Määrällisen tutkimuksen menetelmistä käytettiin pitkittäistutkimusta laitteiden energiatehokkuuden selvitykseen ja kokeellista tutkimusta energiatehokkuustoimenpiteiden toteutukseen ja testaukseen.

Opinnäytetyön aluksi perehdyttiin energiatehokkuuteen ja lämpöenergiaan liittyvään teoriaan. Tämän jälkeen tutkittiin hiomon prosessia ja laitteita. Laitteiden tutkimuksen pääpaino on laitteiden sähkön kulutuksessa. Työssä tutkittiin myös hiomon prosessissa syntyvää lämpöä ja sen hyödyntämistä. Sähkön kulutuksen ja lämmön hyödyntämisen selvitystyössä käytettiin toiminnanohjausjärjestelmiä, tietokannoista löytyvää materiaalia sekä hiomon henkilöstön tietoa.

Selvitystyön jälkeen valittiin muutamia laitteita, joiden energiatehokkuutta kehitetään mm. säätöalueita optimoimalla. Lisäksi työssä perehdyttiin muutamiin laitteisiin, joiden toiminnassa ei löytynyt parannettavaa.

Työn lopputuloksena saatiin pieniä säästöjä hiomon sähkön kulutukseen. Lisäksi luotiin konkreettinen työkalu, jolla mallinnetaan ja optimoidaan laitteen sähkönkulutusta. Ylimääräisen lämmön hyödyntämisen todettiin olevan hyvällä tasolla, joten lämmön kulutuksesta ja hyödyntämisestä löydettiin vain vähän kehitettävää.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
1.1	Tutkimuksen lähtökohta, tavoite ja rajaus	8
1.2	Toimeksiantaja Stora Enso Oyj.....	9
1.3	Tutkimuksen eteneminen.....	9
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	11
2.1	Tutkimusmenetelmän valinta	11
2.2	Käytetyt tutkimusmenetelmät.....	11
2.3	Aineistonkeruumenetelmät ja aineiston analysointi	13
3	ENERGIATEHOKKUUS	15
3.1	Energiatehokkuuden määritelmä	15
3.2	Energiatehokkuuslaki.....	15
3.3	Energian kulutus Veitsiluodon tehtailla ja hiomolla	16
3.4	Energiatehokas pumppaus	18
3.5	Energiatehokkuuden seurantatyökalu.....	20
4	LÄMPÖENERGIA	21
4.1	Lämmitys ja höyryn käyttö	22
4.2	Ylijäämälämpö ja lämmöntalteenotto	22
4.3	Lämmönvaihtimet	23
4.4	Teollisuuskiinteistön energiatehokkuus.....	23
5	HIOMON PROSESSIN KUVAUS	25
5.1	Hiokkeen valmistus.....	25
5.2	Puunsyöttö.....	26
5.3	Hiontaprosessi ja hiomakoneet.....	26
5.4	Rejektinkäsittely.....	27
5.5	Lajittelu ja saostus	28
5.5.1	Painelajittelu	28
5.5.2	Pyörrepuhdistinlajittelu	28
5.5.3	Saostus	28
5.6	Valkaisu	29
6	HIOMON SÄHKÖN KÄYTTÖ JA KÄYTÖN OPTIMOINTI.....	31
6.1	Energiatehokkuuden seurantatyökalun valinta	31
6.2	Puunsyöttö.....	31

6.3	Hiomakoneet.....	32
6.4	Rejektinkäsittely.....	33
6.5	Lajittelu ja saostus	34
6.6	Valkaisu	36
6.6.1	MC-pumppu 100.....	38
6.6.2	MC-pumppu 501.....	41
7	LÄMPÖENERGIA HIOMOLLA	45
7.1	Hiomon 0-veden jäädytys	45
7.2	Hiomakivien lämmitys	48
7.3	Hiomon ilmastointi	49
7.3.1	Höngänpoisto ja salin lämpötilan säätö	49
7.3.2	Sali-ilma kierrätys ja tasojen lämmitys.....	51
7.3.3	Valkaisurakennuksen lämmitys	54
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	58
8.1	Tutkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu	58
8.2	Pohdintaa tutkimusprosessista	59
8.3	Tutkimuksen luotettavuus	59
8.4	Tutkimuksen hyödynnettävyys ja kehitysehdotukset	60
	LÄHTEET.....	62
	LIITTEET	66

ALKUSANAT

Ensiksi haluisin kiittää työn toimeksiantajaa Stora Enso Oyj:tä ja valvojaa Matti Kaarakkaa hyvästä ohjauksesta ja asiantuntevista neuvoista. Lisäksi haluisin kiittää hiomon henkilöstöä opastuksesta ja avoimesta suhtautumisesta työhön. Edellä mainittujen lisäksi haluaisin kiittää Eforan kunnossapitoinsinöörejä Pentti Ypyää ja Petri Hamaria, projekti-insinööri Tero Korhosta ja kunnossapitoasentaja Sauli Liiteniä. Lopuksi kiitän vaimoani, joka kannusti työn teossa.

2.12.2015

Juha-Matti Ypyä

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SE	Stora Enso
CSF	Canadian Standard Freeness
EOK	energian ominaiskulutus
PP	pyörrepuhdistus
VL	valkaisulinja
PL	Päälinja
SC	Super Calendered
LWC	Light Weight Coated
MC	Medium Consistency
HL	Hiomalinja
pp	pyörrepuhdistus
LTO	lämmöntalteenotto

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen lähtökohta, tavoite ja rajaus

Stora Enson Veitsiluodon tehtaiden hiomo tuotti aiemmin mekaanista massaa eli hioketta kahdelle paperikoneelle eli PK1:lle ja PK5:lle. Kun PK1 lopetti toimintansa huhtikuussa 2014, niin pieneni hiokkeen tarve noin 40 %. Tämä tarkoitti sitä, että myös hiomolla oli tehtävä muutoksia, jotta hioketta saataisiin edelleen tuotettua energiatehokkaasti. Linjoja ja laitteita, jotka oli tarkoitettu PK1:den tarpeisiin, pysäytettiin ja muutettiin siten, että niillä voitaisiin tarpeen vaatiessa tuottaa hioketta PK5:lle. Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli syventyä hiomon prosessiin ja laitteisiin ja tutkia, löytyykö keinoja lisätä hiomon energiatehokkuutta muuttuneessa tilanteessa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on minimoida hiokkeen tuotannon energiankulutusta sähkön ja lämmön osalta, sekä kehittää energiatehokkuuden seuranta hiomolla. Tutkimuksessa käydään läpi hiomon prosessin energiankulutusta sähkön ja lämmön osalta huomioiden myös lämmön talteenottojen, lämmönvaihtimien yms. toiminnot. Lisäksi tutkimuksessa pyritään optimoimaan hiomon prosessia sähkön ja lämmönkulutuksen osalta. Tutkimuksen tavoitteena on myös energiatehokkuuden seurantatyökalun rakentaminen. Tavoitteena on luoda käyttäjäystävällinen malli, joka havainnollistaa energiatehokkaan ajotavan käyttäjälle.

Tutkimuksen päätavoitteena on parantaa hiomon energiatehokkuutta. Tämä pyritään tekemään löytämällä laitteet, joiden ajotapaa ja toimintaa muuttamalla voidaan parantaa niiden energiatehokkuutta. Lisäksi tehdään kehittämissuhteita ja konkreettisia muutoksia valittujen laitteiden ajotapoihin ja toimintaan.

Tutkimus rajataan koskemaan hiomoa ja hiontaprosessia. Optimointityön pääpaino on lämmön kulutuksessa.

1.2 Toimeksiantaja Stora Enso Oyj

Stora Enso valmistaa paperia, biomateriaaleja, puutuotteita ja pakkaustarvikkeita. SE:llä on noin 28000 työntekijää yli 35 maassa. Asiakkaita ovat kustantamot, painotalot, paperitukkurit, pakkausteollisuus, puusepän teollisuus ja rakennusteollisuus. SE tuottaa vuodessa 5,4 milj. tonnia kemiallista sellua, 11,7 milj. tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 mrd. neliometriä aaltopahvia ja 5,6 milj. kuutiometriä puutuotteita. Konsernin liikevaihto vuonna 2013 oli 10,5 mrd. euroa ja operatiivinen liikevoitto 578 milj. euroa. Suomessa Stora Enson yksiköissä työskentelee 6950 työntekijää, eli noin 25 % työvoimasta. SE:n pääkonttori on Helsingissä ja toimintaa on useilla eri paikkakunnilla. (Stora Enso lyhyesti 2014.)

Stora Enson Veitsiluodon tehtaat pitää sisällään arkittamon, paperikoneet 2, 3 ja 5, sahan, hiomon, sellutehtaan ja voimalaitoksen. Tehtaan vuosittainen tuotantokapasiteetti on 570 000 tonnia toimistopapereita, 280 000 tonnia aikakauslehti papereita ja 160 000 kuutiometriä sahatavaraa. Aikakauslehtipaperia valmistetaan Paperikone 5:llä, jonka tarpeisiin Hiomo tuottaa mekaanista massaa 85 000 tonnia vuodessa. Lämpöenergiaa tuotetaan 11 000 TJ voimalaitoksella ja sellutehtaalla tehdasalueen käyttöön. Tehtaan sähkön tarve on 1 100 GWh vuodessa, josta yli puolet tuotetaan itse. (Stora Enso 2015.)

1.3 Tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksen ensimmäisenä vaiheena oli perehtyä hiomon prosessiin ja laitteisiin, kiinnittäen huomiota erityisesti energiankulutukseen. Tässä vaiheessa tutkittiin myös hiontaprosessissa syntyvää lämpöä ja sen hyödyntämistä sekä laitteita, joilla lämpöä hyödynnetään. Lisäksi tutkittiin hiomorakennuksen lämmitystä ja sitä, kuinka se on toteutettu. Myös tutkittiin sitä, että missä hiomolla käytetään höyryä lämmityksiin.

Seuraavassa vaiheessa valittiin laitteet, joiden toimintaa pyrittiin selvittämään ja optimoimaan. Laitteiden valintaan vaikutti laitteen sähkönkulutuksen lisäksi se, olisiko laitteen toimintaa mahdollista optimoida. Lämmitykseen ja lämmön hyödyntämiseen käytettyjen laitteiden valintaan vaikutti se, olisiko laitteiden toimintaa optimoimalla mahdollista vähentää höyryn käyttöä lämmityksessä. Tässä vaiheessa oli tarpeen tutkia myös laitteiden toimintaan ja toiminnan optimointimahdollisuuksiin liittyvää kirjallisuutta ja materiaalia.

Kolmannessa vaiheessa tutkittiin erilaisia energiatehokkuuden seurantatyökaluja ja valittiin, millaista työkalua työssä tulisi käyttää. Tässä vaiheessa vierailtiin Stora Enson Anjalan tehtailla, missä on tehty töitä hiomon energiatehokkuuden kehittämiseksi. Osana sitä kehitystyötä on ollut energianseurantatyökalujen luominen useille laitteille. Vierailusta saatiin myös ideoita siitä, millaisille laitteille työkalu sopisi parhaiten.

Seuraavassa vaiheessa toteutettiin muutokset, joilla parannettiin hiomon energiatehokkuutta. Joidenkin aiemmin valittujen laitteiden toimintaa ei pystytty optimoimaan tämän työn puitteissa. Muutosten jälkeen seurattiin laitteiden toimintaa ja sitä, kuinka suuri vaikutus muutoksilla oli energian käyttöön. Tämän jälkeen kerättiin kokemuksia muutoksista ja tutkittiin sitä, olisiko tehtyjä muutoksia tarvetta säätää. Niiden perusteella tehtiin pieniä säätöjä tehtyihin muutoksiin. Säätöjen jälkeen seurattiin niiden vaikutusta ja todettiin ne toimiviksi.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Tutkimus jaetaan yleensä teoreettiseen tai empiiriseen tutkimukseen (Pihlaja 2004, 46). Empiirinen tutkimus voidaan määritellä tutkimukseksi, joka perustuu kokemukseen tai havainnointiin (Empirical Research 2009). Teoreettisessa tutkimuksessa taas tutkimuskohteeseen perehdytään ajatusrakennelmien kautta (Teoreettinen tutkimus s.a.). Tämä tutkimus on edellä mainituista selvästi empiirinen tutkimus, koska siinä tehdään konkreettisia havaintoja hiomon prosessista ja laitteista sekä hyödynnetään hiomon henkilöstön kokemusta. Lisäksi tärkeä osa empiiristä tutkimusta on tutkimuskohteen analysointi ja mittaus, jota tehtiin tutkimuksen aikana paljon.

Empiirinen tutkimustoiminta voidaan jaotella kvantitatiiviseen eli määrälliseen ja kvalitatiiviseen eli laadulliseen tutkimukseen (Heikkilä 2014, 13). Kolmantena tutkimustyyppinä pidetään tapaustutkimusta, joka voidaan toteuttaa joko kvantitatiivisesti tai kvalitatiivisesti. Tapaustutkimus antaa yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa yksittäisistä tapauksista. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 134, 191) Tapaustutkimuksen avulla tutkittiin laitteita ja pyrittiin löytämään ne laitteet, joiden energiatehokkuutta voisi kehittää. Koska kvalitatiivisen tutkimuksen tutkimusaineisto on verbaalista tai visuaalista, niin tämä tutkimus on kvantitatiivinen, sillä suurin osa sen tutkimusaineisto on esitettävissä numeerisessa muodossa (Uusitalo 1999, 79). Kvantitatiivisen tutkimuksen tutkimustyyppinä pidetään kokeellista tutkimusta eri lajeineen ja survey-tutkimusta (Hirsjärvi ym., 2009, 191). Tässä tutkimuksessa kokeellista tutkimusta tarvittiin energiatehokkuuden kehittämistoimenpiteiden ja seurantatyökalun tekemiseen ja testaukseen.

2.2 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Tapaustutkimuksen kohde voi olla esimerkiksi koko yritys tai sen osa, yrityksen tuote, toiminta tai prosessi. Tapaustutkimuksella pyritään tuottamaan syvällistä

ja yksityiskohtaista tietoa tutkittavasta tapauksesta. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 52.) Tapaustutkimus soveltuu myös tieteellisten teorioiden ja mallien testaamiseen realistisessa toimintaympäristössä. Tapaustutkimus etenee yleensä siten, että ensin valitaan tutkittava tapaus, jolle määritellään kehittämistehtävä. Tässä tutkimuksessa tutkittava tapauksena olivat hiomon laitteet ja kehittämistehtävänä oli energiatehokkuuden kehittäminen. Tämän jälkeen tapaukseen perehdytään käytännössä ja teoriassa, ja samanaikaisesti täsmennetään kehittämistehtävää. Tässä tutkimuksessa kehittämistehtävää ei täsmennetty, vaan tutkittavaa tapausta vaihdettiin, jos kehittämistehtävän suorittaminen alkuperäiselle tapaukselle ei onnistunut. Tämän jälkeen kerätään ja analysoidaan aineistoa, jonka jälkeen saadaan kehittämissuhteet. Kehittämissuhteet tässä tutkimuksessa olisivat esimerkiksi tutkitun laitteen ajotapojen muutoksia, joilla parannettaisiin laitteen energiatehokkuutta. (Shuttleworth 2008a; Ojasalo ym. 2009, 52-55.)

Kokeellisen tutkimuksen tavoitteena on tehdä kontrolloituja ja systemaattisia havaintoja tutkimuskohteesta sekä saada mahdollisimman luotettavia tutkimustuloksia. Kokeelliseen tutkimukseen kuuluu myös yhden tai useamman muuttujan muuttaminen, jotta voidaan havaita ja mitata sen vaikutus muihin muuttujiin. Tässä tutkimuksessa tutkimuskohteena on muutamien laitteiden energiatehokkuuden kehittäminen. Esimerkiksi pumppujen energiatehokkuutta kehitettiin muuttamalla yhtä muuttujaa eli pienennettiin pumpun pyörimisnopeutta. Tämän jälkeen seurattiin muuttujaan eli pyörimisnopeuteen tehdyn muutoksen vaikutusta muihin muuttujiin, kuten tehoon, virtaukseen ja venttiilin asentoon. Tämän jälkeen tutkittiin, oliko muuttujaan tehty muutos onnistunut. Kokeellisessa tutkimuksessa on tärkeää muuttaa vain yhtä muuttujaa kerrallaan sekä tietää, mitä muuttujaa tai muuttujia testataan. (Blakstad. 2008.)

2.3 Aineistonkeruumenetelmät ja aineiston analysointi

Tässä tutkimuksessa on käytetty useita aineistonkeruumenetelmiä. Osa aineistosta on valmiita dokumentteja, mutta suurin osa aineistosta on tuotettu itse seurannan ja haastatteluiden avulla.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin hiomon prosessia ja laitteita sekä konkreettisesti kiertämällä hiomolla että tutustumalla valmiiseen aineistoon esimerkiksi prosessin kuvauksiin. Lisäksi hiomon prosessia tutkittiin myös prosessinohjausjärjestelmä Metso DNA:sta, josta tutkittiin myös mihin hiomolla käytetään höyryä. Toiminnanohjausjärjestelmä SAP:sta saatiin tietoa laitteista ja niiden nimellistehoista. Työ- ja toimintaohjeista löytyi paljon yleistä tietoa hiokkeen valmistuksesta ja hiontaprosessista. Tämä vaihe perustui siis valmiiden dokumenttien hyödyntämiseen.

Laitteiden optimointimahdollisuuksien selvityksessä käytettiin paljon prosessianalyysointijärjestelmä Savcor Wedgeä, jolla on tehty myös tutkimuksessa esitetyjä kuvia. Savcor Wedgen avulla tutkittiin laitteiden toimintaa seuraamalla laitteeseen liittyviä mittauksia ja niissä tapahtuvia muutoksia eri tilanteissa. Esimerkiksi pumppujen pyörimisnopeuksia, pumpun tuottamaa painetta ja virtausta sekä pumpun jälkeisen venttiilin asentoa tutkimalla pyrittiin löytämään ne pumput, joiden toimintaa olisi mahdollista kehittää. Lämmönvaihtimilla seurattavia mittauksia olivat paine-ero ja lämpötilan muutokset. Höyryn käyttöä tutkittaessa seurattiin virtausmittauksia ja venttiilin asentoja.

Haastattelua hyödynnettiin hiomon prosessinohitajien kokemusten ja tietojen keruussa. Haastattelujen avulla selvittiin prosessin ja laitteiden ajotapoja ja käytössä olevia toimintamalleja. Lisäksi haastatteluilla kerättiin mielipiteitä suunniteltujen energiatehokkuustoimenpiteiden toimivuudesta ja siitä, kannattaako niitä toteuttaa. Haastattelut olivat keskusteluntyyppisiä, jotka tehtiin hiomon valvomossa paikalla oleville prosessinohitajille. Myös hiomolla toimivia kunnossapitäjiä ja kunnossapitoinsinöörejä haastateltiin. Nämä haastattelut

tehtiin yleensä sähköpostilla tai puhelimitse, ja ne olivat myös keskusteluntyyppisiä. Haastateltuja kunnossapitohenkilöitä oli yhteensä neljä ja heiltä saatiin tietoa joidenkin järjestelmien, kuten esimerkiksi salin lämmityksen ja ilmastoinnin, toiminnasta. Lisäksi heiltä saatiin mittaustuloksia niiden laitteiden osalta, joita ei ollut saatavilla suoraan prosessinohjausjärjestelmästä.

Aineiston analyysimenetelmät voidaan jakaa määrälliseen ja laadulliseen analyysiin. (Aineiston analyysi menetelmät s.a.). Laadullisen analyysin tavoitteena on jäsentää tutkimuskohteen laatua, ominaisuuksia ja merkityksiä (Laadullinen analyysi s.a.). Määrällisen analyysin avulla pyritään kuvaamaan ja tulkitsemaan tutkimusaineistoa numeroiden ja tilastojen avulla. Lisäksi sillä pyritään selvittämään ilmiöiden syy-seuraussuhteita, ilmiöiden välisiä yhteyksiä ja ilmiöiden esittämistä numeroiden tai tilastojen avulla (Määrällinen analyysi s.a.) Tässä tutkimuksessa laitteiden seurannan avulla saadun aineiston analysointiin on käytetty määrällisen analyysin menetelmiä. Seurannan avulla saadut mittaustulokset muutettiin graafiseen muotoon ja niistä analysoitiin laitteiden toimintaa ja kehitysmahdollisuuksia. Lisäksi niistä analysoitiin muuttujien välisiä yhteyksiä, esimerkiksi kuinka pumpun kierrosten muuttuminen vaikuttaa pumpun jälkeisen venttiilin asentoon. Graafisista esityksistä tutkittiin myös höyryn käyttöä ja lämmönvaihtimien toimintaa.

Haastatteluilla kerätyn aineiston määrä on suhteellisen pieni. Haastatellut henkilöt ovat kokeneita prosessinhoitajia ja kunnossapitäjiä, joiden tieto ja kokemus hiomon prosessista ja laitteista on mahdollisimman laaja. Näin ollen voidaan olettaa, että heiltä saatu aineisto on totuuden mukaista. Joissakin tapauksissa on haastateltu useita prosessinhoitajia, jotta saadaan mahdollisimman kattava mielipide esimerkiksi suunniteltujen toimenpiteiden toimivuudesta.

3 ENERGIA TEHOKKUUS

3.1 Energiatehokkuuden määritelmä

Energiatehokkuudella tarkoitetaan yleensä energian käytön hyötysuhdetta. Tarpeet pyritään tyydyttämään pienemmällä energiamäärällä tai samalla energiamäärällä laadukkaammin. Tai samalla energiamäärällä pyritään suorittamaan enemmän toimintoja. (Energiatehokkuuskäsitteiden viidakossa 2011.) Energiatehokkuus on siis tuotannon tai tuloksen suhde käytettyyn energiaan (Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 10).

Työ- ja elinkeinoministeriön mukaan tärkein syy energiatehokkuuden kehittämiseen on ilmastonmuutoksen hillitseminen. Muita syitä ovat energian saatavuuden turvaaminen, tuontienergian tarpeen vähentäminen, energiakustannusten pienentäminen ja muut ympäristösyöt. (Energiatehokkuus 2014.)

3.2 Energiatehokkuuslaki

Energiatehokkuuslaki säädettiin 30.12.2014 Helsingissä ja se astui voimaan 1.1.2015. Lain tarkoituksena on säätää mm. energiatehokkuuden edistämistä, energiatehokkuuden parantamiseksi tehtäviä energiakatselmuksia ja ylijäämälämmön hyödyntämisen edistämiseksi tehtäviä kustannus-hyötyanalyyssejä. Lakia sovelletaan mm. suuriin yrityksiin ja niissä tehtäviin energiakatselmuksiin sekä sellaisiin teollisuuslaitoksiin, joissa voi syntyä käyttökelpoista ylijäämä lämpöä. Tässä laissa energialla tarkoitetaan esim. sähköä tai polttoaineita, ja energiatehokkuudella jonkin tuotoksen ja energiapanoksen välistä suhdetta. Suurella yrityksellä tarkoitetaan yritystä, jonka palveluksessa on yli 250 henkilöä tai vuosiliikevaihto on yli 50 milj. euroa. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014 1.)

Yrityksen energiakatselmus on menettely, jolla saadaan riittävästi tietoa koko yrityksen energiankulutusprofiilista, ja siinä tulee ottaa huomioon kaikki yrityksen energiankäyttökohteet, kuten esim. rakennukset ja teollinen toiminta. Yrityksen energiakatselmuksessa on oltava erillisiä kohdekohtaisia katselmuksia yrityksen toiminnoista, joista voidaan muodostaa kuva yrityksen kokonaisenergiatehokkuudesta ja samalla todeta sen merkittävimmät parantamismahdollisuudet. Yrityksen on tehtävä pakollinen energiakatselmus neljän vuoden välein, jollei sillä ole käytössä sertifioitua energianhallintajärjestelmää, kuten esim. sertifioitu ISO 50001 - järjestelmää. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2.) Energiakatselmuksessa energijakaumat esitetään numeerisesti siten, että järjestelmät joiden energiankulutuksen osuus on yli 5 % kokonaiskulutuksesta, on eritelty. Kulutusjakauksessa ei siis ole riittävää kuvata jakaumaa esimerkiksi tuotantolinjoittain. (Teollisuussektorin energiakatselmusten ohjeistus 2009, 8.)

ISO 50001 -standardi auttaa yrityksiä käyttämään energiaa tehokkaammin energianhallintajärjestelmän avulla. Energianhallintajärjestelmä asettaa vaatimuksia yrityksille, jotta ne voivat kehittää käytäntöjä tehokkaampaan energiankäyttöön. Lisäksi se antaa tietoa, jonka avulla voidaan paremmin ymmärtää ja tehdä päätöksiä energian käytöstä. Energianhallintajärjestelmä myös mittaa tuloksia, tarkistaa kuinka hyvin käytännöt toimivat ja auttaa kehittämään energian hallintaa. (ISO 50001 - Energy management.)

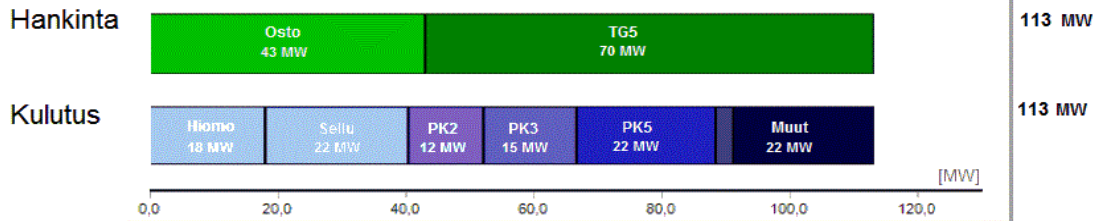
3.3 Energian kulutus Veitsiluodon tehtailla ja hiomolla

Veitsiluodon tehtailla ollaan sertifioimassa energiatehokkuuslain vaatimaa energianhallintajärjestelmää vuoden 2015 aikana. Energianhallintajärjestelmän pääsivulta käy ilmi koko tehtaan sähkön ja lämmön kulutus ja hankinta valitulla ajanjaksolla, (kuvio 1). Tässä selvityksessä höyryn tuottamisen hintana on käytetty 18,5 €/MWh eli 5,14 €/GJ ja sähkön tuotannon hintana 50 €/MWh (Kaarakka 2015b).



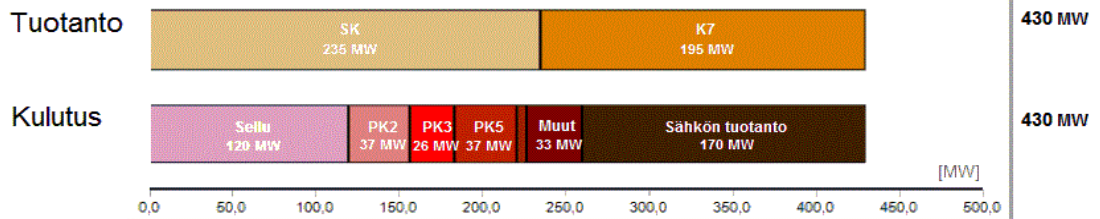
Energiaraportointi Veitsiluodon tehtaat

Sähkön hankinta ja kulutus



Hankinta		Kulutus						
Osto	TG5	Hiomo	Sellu	PK2	PK3	PK5	Saha	Muut
43,0 MW	70,1 MW	18,1 MW	22,4 MW	11,6 MW	14,6 MW	21,8 MW	2,6 MW	22,0 MW
38,0 %	62,0 %	16,0 %	19,8 %	10,3 %	12,9 %	19,2 %	2,3 %	19,4 %

Lämmön tuotanto ja kulutus

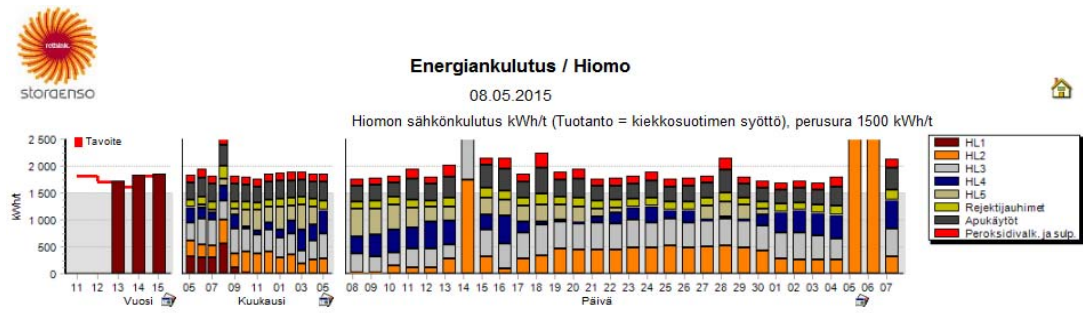


Tuotanto		Kulutus						
SK	K7	Sellu	PK2	PK3	PK5	Saha	Muut	Tuotanto
235,4 MW	194,7 MW	119,6 MW	37,1 MW	26,3 MW	37,4 MW	6,6 MW	33,1 MW	170,0 MW
54,7 %	45,3 %	27,8 %	8,6 %	6,1 %	8,7 %	1,5 %	7,7 %	39,5 %

Kuvio 1. Veitsiluodon tehtaiden energiaraportti (Stora Enson www-sivut 2015)

Hiomo on Veitsiluodon tehtaiden yksi suurimmista sähkön kuluttajista. Lämpöä hiomolla kulutetaan muihin osastoihin verrattuna niin vähän, että sitä ei ole eritelty energiaraportissa, vaan se sisältyy kohtaan muut.

Kuviossa 2 on esitetty tarkemmin hiomon sähkön käytön jakautuminen. Hiomon sähkönkulutus on jaettu tehomittausten mukaan neljään osaan. HL1, HL2 jne. ovat hiomalinja 1, hiomalinja 2 jne. Rejektijauhimet ovat esitetty kuviossa erikseen niiden suuren energiankulutuksen vuoksi. Apukäytöt sisältävät mm. tikkumurskaimet, painelajittimet, pumpput yms. Peroksidivalk. ja sulp. tarkoittavat peroksidivalkaisulaitoksen ja sulputtamon sähkönkulutusta.



Kuvio 2. Hiomon energiaraportti (Stora Enson www-sivut 2015)

Kuten kuvio 2 ilmenee, käytetään sähköenergiaa hiokkeen tuotannossa 1,6 – 1,7 MWh/t. Tarkemmin hiomon ja hiomalinjojen sähkönkulutusjakeita on esitetty liitteessä 1.

Veitsiluodon tehtailla on ns. energiatavoite, että Veitsiluodon tehtaiden energiatehokkuus paranee 1,5 % vuodessa (Nykänen 2015). Energiatavoitteella tarkoitetaan sitä, että jollekin kohteelle on asetettu energiatavoite, joka on energiatehokkuuden taso, johon pyritään pääsemään energiatehokkuustoimenpiteiden avulla. Energiatavoite asetetaan tehtaalle, tuotantolinjoille sekä merkittäville energiantuotanto- ja energiankulutuskohteille ja niiden osakokonaisuuksille. Energiatavoitteiden tasoa arvioidaan ja päivitetään. (Stora Enso Veitsiluodon tehtaan energiapäämäärä ja –tavoite 2015, 3.)

3.4 Energiatehokas pumppaus

Pumput voidaan jakaa kolmeen ryhmään: turbopumput, syrjäytyspumput ja muut pumput. Yleisimmin teollisuudessa käytetään keskipakopumppuja, jotka kuuluvat turbopumppujen ryhmään. (Energiatehokas pumppausjärjestelmä 2009, 2.) Keskipakoperiaatteella toimivat keskisakeuspumput, eli ns. MC-pumput, on tehty pumppaamaan keskisakeaa massaa. Aiemmin keskisakean massan pumppaukseen käytettiin mäntäpumppuja, joiden energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin MC-pumppujen. MC-pumppujen hyvänä puolena, energiatehokkuuden lisäksi, on pienemmät hankinta- ja huoltokustannukset sekä pienemmät rakennuskustannukset, sillä MC-pumput toimivat myös

kemikaalinsekoittimina, joten erillisiä sekoitusaltaita ei tarvita. (Suomalainen insinööriyöpalkinto 1981 - 2013 2013, 11) Lisäksi MC-teknologia pienentää prosessin kokonaisvedenkulutusta, sillä pumpattavaa massaa ei tarvitse välillä laimentaa (Palsanen J. 2008).

Pumput kuluttavat monissa prosesseissa valtaosan prosessin käyttämästä sähköenergiasta, ja siksi pumppauksen tehostaminen on yksi tärkeimmistä keinoista pienentää sähkön kulutusta. Pumppausjärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttaa monet seikat, kuten esimerkiksi putkiston energiatehokkuus, pumpun mitoitus, ohjaus ja sähkömoottori. Putkiston energiatehokkuutta heikentää mm. venttiilit ja muut komponentit, kuten jako- ja liitoskohdat. Pumput tulee mitoittaa siten, että ne toimivat prosessin kannalta mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Pumppujen ylimitoitus vähentää niiden energiatehokkuutta. Yleisiä syitä ylimitoitukseen ovat mm. liian suuri varomarginaali, tahallinen ylimitoitus mahdollisen tuotannonkasvun varalta ja valintaan vaikuttaneet muut tekijät kuten hinta. Ylimitoituksen voi korjata esimerkiksi vaihtamalla pumpun, pumpun moottorin tai pumpun juoksupyörän. Pumpun käyttöä voi tehostaa myös nopeussäädetyin käytön avulla. (Energiatehokas pumppausjärjestelmä 2009, 3 - 6.)

Vaihtelevaa pumppaustarvetta ohjataan usein ohijuoksutuksella tai kuristuksella eli yleensä venttiilillä. Nämä tavat ovat halpoja ratkaisuja, mutta heikentävät energiatehokkuutta. Vaihtelevaa virtausta on parempi hallita pumpun nopeussäädöllä. Nopeussäädön toteuttaminen vaatii suurempia investointeja, mutta sen avulla saadaan säästöjä sähkökustannuksiin, taataan prosessin tasainen ja varma toiminta sekä saadaan pumppu toimimaan parhaalla mahdollisella tehokkuudella. Pumppujen huollon ja kunnossapidon tulee olla kunnossa, sillä pumppujen tehokkuus voi laskea merkittävästi likaantumisen vuoksi tai ajan myötä. (Energiatehokas pumppausjärjestelmä 2009, 9 - 12.)

3.5 Energiatehokkuuden seurantatyökalu

Ensimmäisenä, energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmää hankittaessa, tulee määrittää millä tasolla energiatehokkuutta halutaan seurata. Seuraavaksi tulee miettiä missä muodossa mittautustieto ja siitä jalostettu tieto tullaan esittämään. Kun ne ovat selvillä, tulee arvioida nykyisten mittausten soveltuvuus ja riittävyys. Tämän jälkeen mittautustieto täytyy visualisoida siten, että esitystapa on selkeä ja sitä on helppo seurata. Esimerkiksi ”liikennevalojen” avulla saadaan esitettyä asiat tiiviisti ja havainnollisesti. Myös hälytysten tulee olla selkeitä. Mittaus- ja seurantajärjestelmässä oleellisinta on, että sen avulla voidaan todeta prosessissa tapahtuvien muutosten vaikutus energiatehokkuuteen. Kun esitystapakin on mietitty, ja järjestelmä ollaan ottamassa käyttöön, tulee henkilöstö kouluttaa. Seurantajärjestelmän käyttöönoton jälkeen tulee järjestelmän toimivuutta seurata ja varmistettava, että kaikki järjestelmää käyttävät tahot todella käyttävät järjestelmää. (Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 5 - 11.)

Monilla toimittajilla on tarjolla energiatehokkuuden seurantatyökaluja, jotka omalla tavallaan mittaavat ja visualisoivat jonkin laitteen tai prosessin energiatehokkuutta. Esimerkiksi Metso Automation Oy:llä on energiatehokkuuden hallintajärjestelmä, johon kuuluu mm. reaaliaikainen seuranta, hälytykset, käyttäjien koulutus ja raportointi (Saarinen, I. 2013, 3). Savcor Wedgen sovelluksessa on interaktiivinen ”kojelauta” ja poikkeamien analysointityökalu (Energy Diagnostics Application, 5).

4 LÄMPÖENERGIA

Lämpöenergialla tarkoitetaan sitä energiaa, joka systeemiin sisältyy siksi, koska systeemi on tietyssä lämpötilassa (Thermal Energy 2014). Lämmöllä taas tarkoitetaan prosessissa lämpötilaeron takia paikasta tai aineesta toiseen siirtyvää energiaa (Speyer 1993, 2).

Kappaleen tai aineen lämmittämiseen tarvittavan energian laskemiseen pitää tietää kappaleen tai aineen massa, haluttu lämpötilan muutos sekä lämmitettävän materiaalin ominaislämpökapasiteetti. Ominaislämpökapasiteetti on jokaiselle materiaalille ominainen arvo, joka kertoo kappaleen lämmittämiseen tarvittavan energian määrän, kun kappale painaa yhden kilogramman ja lämpötila muuttuu yhden asteen. Kappaleen tai aineen sitoutunut tai vapautunut energia lasketaan kaavalla:

$$E = \Delta t \times m \times c \quad (\text{Young \& Freedman 2002, 654.}) \quad (1)$$

missä

E on energia

Δt on lämpötilan muutos

m on massa

c on ominaislämpökapasiteetti. (Young & Freedman 2002, 654.)

Esimerkiksi veden ominaislämpökapasiteetti on $4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$ ja ilman $1,00 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$. Veitsiluodon tehtailla matalapainehöyryn energiasisältö eli ns. entalpia noin $2,74 \frac{\text{GJ}}{\text{t}}$ ja ns. väliottohöyryn noin $2,88 \frac{\text{GJ}}{\text{t}}$ (Nykänen 2015).

4.1 Lämmitys ja höyryn käyttö

Lämmitysprosessit ovat oleellinen osa monien tuotteiden valmistusta. Lämmitysprosessien energiatehokkuuteen vaikuttaa lämmöntuotanto, lämpöä kuluttavan prosessin tehokkuus ja lämmön siirto loppukäyttäjälle. Yleensä lämmitysjärjestelmät perustuvat polttoon, sähköön tai höyryyn. Lämmitysjärjestelmiä parantamalla ja tehostamalla saadaan aikaan säästöjä mm. polttoainekustannuksissa. (Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä 2015.)

Höyryä käytetään teollisuudessa paljon erilaisten prosessien lämmittämiseen. Höyryn käytön hyviä puolia on, että se on myrkytön ja turvallinen, sen siirtäminen on helppoa, siinä on korkea lämpökapasiteetti ja sen lämpötilaa on helppo hallita. Höyry- ja lauhdejärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttaa hyvä suunnittelu, lauhteenkäsittely ja häviöiden minimointi. Suurimmat taloudelliset säästöt saadaan aikaan, kun höyryn käyttöä pystytään vähentämään. Höyryä käyttävien laitteiden tehokkuutta voi parantaa kiinnittämällä huomiota laitteita ohjaavaan automaatioon, käynnistämällä laitteet hitaasti ja hallitusti ja lämpöeristämällä ne. Lisäksi höyryvuodot tulee korjata ja prosessin lämpötila pitää mahdollisimman alhaalla. (Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015.)

4.2 Ylijäämälämpö ja lämmöntalteenotto

Ylijäämälämpö, jota kutsutaan myös hukka- tai jätelämmöksi, on lämpöenergiavirta, joka poistuu tuotantolaitoksesta esimerkiksi poistoilman mukana. Ylijäämälämpöä esiintyy monissa eri muodoissa, joten jokainen ylijäämälämpökohde vaatii yksilöllistä tarkastelua. Yleensä ylijäämälämpöä pyritään hyödyntämään mm. teollisuuskohteen sisäisesti esimerkiksi lämmöntalteenoton avulla, myymällä lämpöä teollisuuskohteen ulkopuolelle tai muuttamalla se sähköenergiaksi. (Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen 2014, 10 – 13.)

Lämmöntalteenoton avulla voidaan parantaa prosessin energiatehokkuutta, hyödyntämällä ylijäämälämpö uudelleen prosessissa tai sen ulkopuolella. Yleisimpiä lämmöntalteenoton lähteitä ovat mm. savukaasut, prosessin poistovedet, poistoilma sekä jäähdytys- ja jätevedet. Talteenotettua lämpöä hyödynnetään tavallisesti esilämmityksissä, ilmastoinnissa ja tilojen tai prosessien lämmityksessä. Yleisimmät lämmöntalteenotossa käytetyt laitteet ovat lämmönsiirtimet eli lämmönvaihtimet ja lämpöpumput. (Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä 2015.)

4.3 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihdin on laite, jolla siirretään lämpöenergiaa fluidista, yleensä neste tai kaasu, toiseen. Fluidit voidaan erottaa toisistaan kiinteällä seinällä, jotta ne eivät sekoitu tai ne voivat olla suorassa kosketuksessa toisiinsa. Lämmönvaihtimet luokitellaan ensisijaisesti kolmeen eri luokkaan virtausten mukaan. Myötävirtavaihtimessa fluidit menevät vaihtimeen samasta päästä ja virtaavat rinnakkain vaihtimen toiseen päähän. Vastavirtavaihtimessa fluidit menevät samaan vaihtimeen vaihtimen vastakkaisista päädyistä. Ristivirtavaihtimissa fluidit virtaavat vaihtimen läpi kohti suoraan toisiinsa nähden. (Kakaç & Liu 2002.)

Lämmönvaihtimet suunnitellaan siten, että fluidien välinen seinä on mahdollisimman iso ja samalla minimoidaan fluidien virtaus vastus vaihtimen läpi. Erityyppisiä lämmönvaihtimia on useita. Yleisimpiä ovat putki-, vaippa- ja levylämmönvaihtimet tai niiden yhdistelmät. Lämmönvaihtimen yleisin vikaantumissy on epäpuhtauksien kertyminen vaihtimen pinnoille. Tämä laskee lämmönvaihtimen tehoa merkittävästi. (Heat exchanger 2014.)

4.4 Teollisuuskiinteistön energiatehokkuus

Suomen lämpöenergiankulutuksesta yli neljäsosa kuluu teollisuuskiinteistöjen lämmitykseen. Käyttötottumuksien muuttaminen on yksi kannattavimmista toimenpiteistä energiatehokkuuden parantamiseksi. Myös laite- ja

järjestelmäratkaisut, energiankulutuksen ohjaaminen ja jätelämmön hyödyntämisen tehostaminen tarjoavat mahdollisuuksia energiatehokkuuden kehittämiseen. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012, 2 – 4.)

Teollisuus tarvitsee lämpöä tilojen lämmitykseen, joka tehdään yleensä kaukolämmöllä, ja prosessintarpeisiin, johon käytetään yleensä höyryä. Lämmöntuotannon kokonaiskustannuksiin vaikuttaa merkittävästi mm. käytettävät polttoaineet, joista teollisuuteen parhaiten soveltuu maakaasu, kevyt polttoöljy, turve, omat sivutuotepolttoaineet ja biopolttoaineet. Tilojen lämmityksessä hyödynnetään myös prosessin tuottamaa hukkalämpöä. Lämmönjako voidaan tehdä esimerkiksi vesikeskuslämmitysjärjestelmällä, säteilylämmittimillä, ilmalämmityksellä ja lämpöpattereilla. Parhaiten korkeissa ja avarissa tiloissa toimii ilmanvaihtokoneilla tehtävä ilmalämmitys. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012, 10 – 11.)

Teollisuuskiinteistön ilmanvaihto tehdään yleensä koneellisesti. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä voi olla pelkän poistoilmakoneen lisäksi tuloilmakoneita, tuloilman kostuttimia ja jäähdyttimiä sekä lämmöntalteenottojärjestelmiä ja jälkilämmittämiä. Tuloilman lämmittämiseen kuluu suurin osa ilmanvaihdossa käytettävästä lämmöstä. Lämmönkulutusta voi vähentää tehostamalla lämmöntalteenottoa poistoilmasta tai muista hukkaenergiälähteistä. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012, 14 – 15.)

5 HIOMON PROSESSIN KUVAUS

5.1 Hiokkeen valmistus

Hiokke on mekaanista massaa, joka valmistetaan hiomalla pyörivällä hiomakivellä kokonaisia puupöllejä. Kuituuntuminen saadaan aikaan pehmentämällä puuainesta eli ligniini puun pinnan voimakkaalla mekaanisella käsittelyllä. Hioketta (myös muita mekaanisia massoja) sisältäviä papereita kutsutaan yleisellä nimellä puupitoisiksi papereiksi. Tärkeimmät hiokkeen käyttökohteet ovat erilaiset sanoma- ja painopaperit sekä tietyt kartonkilajit. Käyttö perustuu lähinnä alhaiseen hintaan, joka johtuu miltei 100 %:n kuidutussaannosta. Toisena tekijänä ovat arvokkaat painatustekniset ominaisuudet, joita ei ole muilla massalajeilla. Näitä ovat mm.:

- opasiteetti
- painoväriin tehokas vastaanotto
- joustavuus ja palautuma kokoonpuristuksessa
- jäykkyys. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

Mekaaninen massa sisältää runsaasti hienoainetta ja verraten vähän pitkiä kuituja. Tästä johtuen hiokkeen muodostaman verkoston lujuus on alhainen. Kuitujen kyky muodostaa sidoksia on myös vähäinen. Nämä heijastuvat lopputuotteessa seuraavasti:

- paperin pohja saadaan tasaiseksi
- paperin lujuus on alhainen
- paperin hajaheijastuskerroin on suuri
- paperin bulkki on suuri. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

Suurin hiokkeen/muun mekaanisen massan osuus on tavallisesti sanomalehtipaperissa (80 - 95 %). SC-aikakauslehtipaperi sisältää noin 75 - 85 % hioketta, kun taas LWC pohjapaperissa osuus on hieman yli 50 %. (Heinineva & Ylimäki, 2013.)

Hiokkeen raaka-aineena käytetään Suomessa lähes yksinomaan kuusta, josta valmistetulla hiokkeella on hyvä vaaleus, lujuus ja se sisältää vähän uuteaineita. Myös mäntyä on käytetty hiokkeen valmistuksessa jonkin verran ja myös haapa on ainakin teoriassa mahdollinen raaka-aine. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

5.2 Puunsyöttö

Puunsyötön tarkoitus hiomon prosessissa, on kuljettaa kuorimolta tulevat puut hiomon sisälle latojatasolle. Puut tuodaan kuorimolta vetomestarilla hiomolle, jossa ne kaadetaan ns. pöllitaskuun. Pöllitaskussa on neljä hydraulikalla toimivaa tankopurkainta, jotka edestakaisella liikkeellä siirtävät puut kolakuljettimelle. Kolakuljettimelta puut putoavat poikittaiskuljettimelle, josta ne menevät pätkänerotuksen, tikunpoiston ja pesurullaston kautta oikaisurummulle. Oikaisurumpu kääntää puut latojatason syöttökuljettimille. Syöttökuljettimien avulla puut siirretään syöttöaukon puoliväliin lasketun pöydän päälle, johon tehdään puunippu. Tämän jälkeen pöytä lasketaan alas. Hydraulisesti toimivalla vaijerisiirtäjällä puunippu siirretään hiomakoneen uunissa olevan luukun päälle. Uunin vaihto-automaattikka pudottaa nipun hiottuun uuniin.

Puiden siirto hiomon sisälle voidaan tehdä myös varakuljettimen ns. kiramoin kautta. Tätä varakuljetinta käytetään kuitenkin vain harvoin, sillä sen käyttö on erittäin kallista.

5.3 Hiontaprosessi ja hiomakoneet

Tämän vaiheen tarkoitus on hiomakoneeseen ladottujen puupölliin kuiduttaminen hiomalla näitä pyörivällä hiomakivellä. Hiomakoneisiin ladottu puunippu painetaan uunin anturan välityksellä hiomakiveä vasten. Kiven pintakuvio aikaansaa puun rakenteeseen voimakkaan puristus laajennus värähtelyn, joka muuttuu lämpöenergiaksi. Tämä aiheuttaa kuituja kiinnipitävän ligniinin pehmenemistä ja sulamista, jolloin kiven harjaavasta vaikutuksesta kuidut irtoavat puurakenteesta. Kuidut poistetaan kiven urista vesisuihkuilla,

jotka samalla pitävät pintalämpötilan haluttuna. Saatu hiokemassa johdetaan hiokekanaalin kautta primäärilajitteluun.

Hiomakoneessa uunin luukun ja anturan työsyntereiden käyttövoimana on painevesi. Varsinainen hionta tapahtuu korkeapainevedellä, kun taas anturan tyhjät liikkeet sekä luukun liikkeet aikaansaadaan matalapainevedellä. Hiomakiveä pyörittää sähkömoottori, johon on akseloitu myös toinen hiomakivi. Hiomolla on neljä hiontalinjaa, joissa jokaisessa on kaksi hiomakonetta. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

5.4 Rejektinkäsittely

Rejektinkäsittelyn tehtävä on erottaa ja muokata hionnasta sekä lajittelusta tuleva rejehtimassa laatuvaatimukset täyttäväksi hiokkeeksi. Lisäksi rejehtijauhatus hajottaa tikkuja ja kuitukimppuja, ja samalla muuttaa syötön mukana tulleiden kuitujen muotoa. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

Hiomakoneilta tullut hiokemassa menee tärysihdeillä tapahtuvaan primäärilajitteluun. Primäärilajittelun rejehti johdetaan tikkumurskaimien läpi rejehtin pumppaussäiliöön. Sieltä rejehti pumpataan rejehtisäiliö 1:een, jonne tulevat myös painesihtien rejehtit. Saostuksen ensimmäisessä vaiheessa kaarisihdeillä erotetaan hienoaines erilleen ja vain tikkumassa jatkaa kaarisihtien massasäiliöön. Sieltä massa jatkaa kiekkosuotimelle, jossa varsinainen saostus tapahtuu ja massa putoaa kairalta rejehtisäiliö 2:een.

Rejehtisäiliö 2:sta rejehti pumpataan matalasakeus-jauhimille, joita on kolme kappaletta sarjaan kytkettynä. Jauhimen 3 ja 2 jälkeen on välipumppaussäiliö, josta tapahtuu pumppaus seuraavalle jauhimelle. Jauhettu massa laimennetaan ja pumpataan rejehtisäiliö 3:sta 2-portaisen painelajittelun kautta pyörrepuhdistus-lajitteluun. Kaarisihdeillä erotettu hienoaines pumpataan suoraan pp-laitoksen syöttöpumpun imupuolelle.

5.5 Lajittelu ja saostus

5.5.1 Painelajittelu

Painelajittelun tehtävänä on erottaa massasta kuituja selvästi suuremmat, tiheydeltään lähes samat, tikut ja muut epäpuhtaudet. Painesihdeissä paine-ero pakottaa akseptimassan sihtirummun läpi. Sihtirumpua läpäisemätön aines joutuu sihdin pohjalle rejektinpoistoputkeen. Rejektimäärän suhde syötettävän massan määrään (rejektisuhde) sekä syötettävän massan sakeus ja määrä, vaikuttavat suotautumiseen, paine-eroon ja viipymään sekä samalla sihdin kykyyn erottaa epäpuhtauksia. Muutos rejektisuhteessa, syöttösakeudessa tai syötön määrässä muuttaa sihdin erotustehoa. Siitä syystä ne on pidettävä vakioina. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

5.5.2 Pyörrepuhdistinlajittelu

Pyörrepuhdistinlajittelun tehtävänä on erottaa massasta hiekka ja muut raskaat osaset, kuorta ja purua sekä tikkuja. Massa pumpataan puhdistimen yläosaan, jolloin se joutuu nopeaan pyörimisliikkeeseen ja puhdistimen keskiosaan muodostuu ilmasydän. Tämän vyöhykkeen ulkopuolella rejekti poistuu alaspäin rejektinpoistoon ja sisäpuolella aksepti ylöspäin akseptivirtaamaan. Pp-laitos on kaskadikytkennässä oleva puhdistuslaitos, jossa toisilajittimen aksepti menee ensiolajittimen syöttöön ja rejekti seuraavan lajittimen syöttöön. Pyörrepuhdistimia on viidessä portaassa, joista 1-porras on jaettu 1/1- ja 1/2-portaisiin. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

5.5.3 Saostus

Saostuksessa erotetaan lajittelusta tulevasta hiokesulpusta vesi palautettavaksi hiomon vesijärjestelmään ja saostetaan laimean massan keskisakeus valkaisuun sopivaksi. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

Saostus voidaan tehdä kahdella eri kiekkosuotimella, joista kiekkosuodin 1 on pienempi ja kiekkosuodin 2 suurempi. Suotimessa suodinammeen massapinta

säädetään suodinkiekkojen pyörimisnopeutta muuttamalla. Suodos poistuu pääakselin ja imuajalojen kautta suodossäiliöön ja irrotettu massakakku putoaa repijäruuville. (Heinineva & Ylimäki 2013.)

5.6 Valkaisu

Valkaisun periaatteena on muuttaa massan sisältämät värilliset yhdisteet (kromoforit) värittömiksi, ilman merkittävää kuituaineksen menetystä. Valkaisumenetelminä käytetään yleensä hapettavaa peroksidivalkaisua ja pelkistävää ditioniittivalkaisua tai näiden yhdistelmiä. Peroksidivalkaisulla mekaanisen massan vaaleustaso nousee noin 10 – 20 yksikköä ja ditioniittivalkaisulla noin 5 – 12 yksikköä. (Hiokkeen peroksidivalkaisu 2004.)

Peroksidivalkaisulla tuotetaan lujaa ja vaaleudeltaan pysyvää massaa vaativimpiin paperilaatuihin korkealla saannolla. Peroksidivalkaisutulokseen vaikuttavat sakeus; reaktioaika ja lämpötila; valkaisuliuos; kelatointi; jäännösperoksidi ja loppuhapetus. (Hiokkeen peroksidivalkaisu 2004.)

Valkaisulinjoja on hiomolla kaksi. Mitoitukseltaan linjat ovat erisuuruiset. VL1 tuotannon maksimi on 170 t/d (n. 1,93 kg/s) abs. kuivaa hioketta, kun taas VL5 pystyy tuottamaan hioketta 407 t/d (n. 4,71 kg/s). Tuotannon erojen suuruus vaikuttaa kaikkiin mitoituksiin putkista säiliöihin ja laitteisiin. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi tarkemmin valkaisulinja 5. (Hiokkeen peroksidivalkaisu 2004.)

Hioke pumpataan kiekkosaostimilta hioketorniin MC-pumpuilla 1 ja 2, josta hioke pumpataan hioketornin pudotusputkesta MC-pumppu 100:lla valkaisulinjalle. MC-pumppu 100:lta tuleva hiokesulppu johdetaan viirapuristimen 501 perälaatikkoon, josta massa valuu kiilamaiseen etupuristusosaan. Hioke saostetaan valkaisuusakeuteen kaksoisviirapuristimella. Kuivattu massaraina hajotetaan repivällä ruuvikuljettimella 501, josta massa putoaa seuraavalle ruuvikuljettimelle 502 ja siirtyy edelleen kemikaalisekoittimelle 501. Puristimesta saatava suodos johdetaan

suodossäiliöön 101. Suodossäiliöstä peroksidipitoinen suodosvesi pumpataan hiokkeen laimennukseen pudotusputkille, sekä hioketornin alalaimennukseen ja valkaisuun menevän hiokkeen sakeussäätöön. Samalla pumpulla voidaan ylimääräistä peroksidipitoista suodosta pumpata myös hiomon tasaussäiliöön. Kemikaalisekoitin 501 sekoittaa keskenään valkaisukemikaalit ja massan. Massa kuljetetaan ruuvikuljetin 502:lla kemikaalisekoittimen syöttöruuville, jonka läpi johdetaan myös valkaisukemikaalit. Kemikaalisekoittimesta massa johdetaan ruuvikuljettimilla peroksidivalkaisutorniin, jossa valkaisu tapahtuu. Peroksidivalkaisutornin viipymäaika ohjaa purkupohjan 501 nopeutta ja täten hiokkeen viipymäaika peroksidivalkaisutornissa. Purkupohja 501 käyttäen toimii kolme moottoria. Purkupohja siirtää massaa kohti tornin pohjan keskikohtaa, josta massa putoaa ruuvikuljetin 507:lle. Siitä massa siirtyy ruuvikuljetin 508:n ja 509:n kautta pudotusputki 501:lle, josta massa pumpataan viirapuristin 502:lle. Viirapuristin 502:delta massa putoaa siirtoruuvi 510:lle, jolta massa menee pudotusputki 502:lle. Siitä massa pumpataan MC-pumppu 502:lla hiokesäiliö 501:een. Ennen MC-pumppu 502:ta massan sekaan annostellaan ditioniitti, jonka tarkoituksena on valkaista hioke haluttuun loppu vaaleuteen. Hiokesäiliö 501:stä hioke pumpataan PK5:den hioketorniin hiokepumppu 501:llä.

Hiomolla käytetään peroksidivalkaisun lisänä tarvittaessa ditioniittivalkaisua. Ditioniitti eli natriumhydrosulfiitti valmistetaan ns. Borol – menetelmällä, jossa neljää nestemäistä raaka-ainetta sekoitetaan oikeassa suhteessa. (Hiokkeen peroksidivalkaisu 2004.)

6 HIOMON SÄHKÖN KÄYTTÖ JA KÄYTÖN OPTIMOINTI

6.1 Energiatehokkuuden seurantatyökalun valinta

Yhtenä tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda energiatehokkuuden seurantatyökalu, joka havainnollistaisi hiomon prosessinhoitajille energiatehokkaan ajotavan. Tarkoitus oli luoda käyttäjystävällinen malli, joka olisi prosessinohjausjärjestelmässä samalla sivulla muiden laitteiden kanssa. Eli esimerkiksi pumpun energian käytön seurantatyökalu olisi samassa näytössä itse pumpun kanssa.

Tähän työhön seurantatyökaluksi valikoitui ns. liikennevalot. Toimittajien seurantatyökaluja ei haluttu käyttää, sillä esimerkiksi Savcor Wedgen ja DNA:n seurantatyökalut ovat maksullisia ja yleensä niiden hankkiminen vain yhdelle tai muutamalle laitteelle ei ole järkevää. Lisäksi niiden sijoittaminen prosessinohjausjärjestelmän näyttöön on hankalaa. Liikennevaloissa valo palaisi vihreällä silloin, kun ko. laite toimisi energiatehokkaasti. Punainen valo taas ilmoittaisi laitteen toimivan energiatehokkuuden kannalta huonolla tasolla. Esimerkiksi nopeussäädettävillä pumpuilla valo palaisi vihreällä silloin, kun pumpun pyörimisnopeus olisi energiatehokkuuden kannalta optimitasolla pumpun tuottamaan virtaukseen tai paineeseen nähden. Lämmönvaihtimilla valo menisi punaiselle, jos esimerkiksi paine-ero vaihtimen yli nousisi liian suureksi tai vaihtimen läpi virtaavan nesteen lämpötilamuutos ei olisi tarpeeksi suuri. Liikennevalot ovat käyttäjystävälliset ja yksinkertaiset, ja niiden sijoittaminen prosessinohjausnäyttöön ei vaadi suurta tilaa. Lisäksi liikennevalojen toimivuudesta on positiivisia kokemuksia Stora Enson Anjalan tehtailta, jossa niitä on käytössä useilla laitteilla (Mörsäri 2015).

6.2 Puunsyöttö

Suurimpina sähkönkuluttajina puunsyöttöprosessissa ovat tankopurkaimet, oikaisurumpu ja hydraulikkakeskuksen pumput. Tankopurkaimien hydraulikkapumpun sähkömoottorin teho on 55 kW ja oikaisurummun

hydrauliikkapumpun sähkömoottorin teho on 22 kW. Siirtäjien hydrauliikkakeskuksen pumppujen moottorien, joita on kolme kappaletta, teho on 15 kW/pumppu. Näistä pumpuista on kaksi käytössä yhtä aikaa. Rullastot ja kuljettimet toimivat 4 – 7,5 kW moottoreilla.

6.3 Hiomakoneet

Hiomalinjoja on käytössä yhtä aikaa 2 – 4 hiokkeen kulutuksesta riippuen. Linjasta voi olla käytössä myös puolet eli vain toinen kivi. Taulukossa 1 on esitetty eri hiomalinjojen tehot.

Taulukko 1. Hiomalinjojen teho (Kaarakka 2015a)

Linja:	Teho	Tyhjäkäyntiteho	Hiontateho kivellä
	MW	MW	MW
Hiomalinja 2	7	0,2	6,8
Hiomalinja 3	7	0,2	6,8
Hiomalinja 4	7	0,2	6,8
Hiomalinja 5	7	0,2	6,8

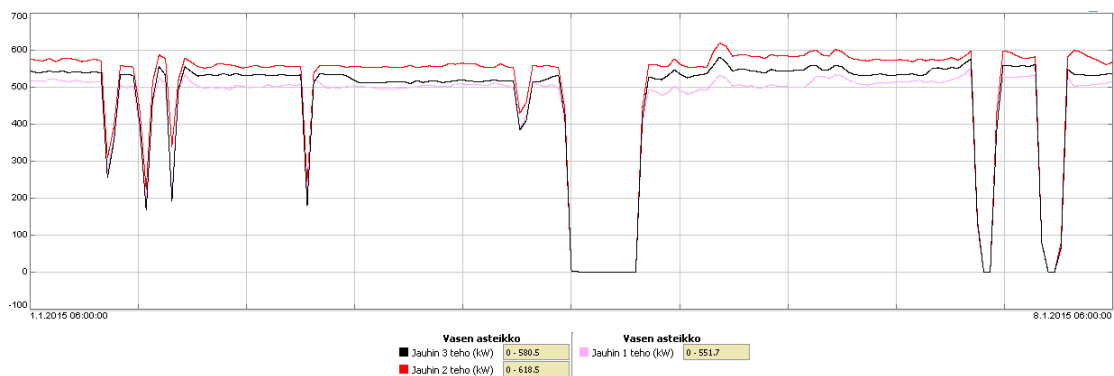
Hiomakoneet ovat suurin yksittäinen energian kuluttaja hiomolla. Hiomakiven pinnan laadulla on merkittävä vaikutus hiokkeen laadun lisäksi tuotantotehoon ja ominaisenergiankulutukseen. Ominaisenergiankulutuksella tarkoitetaan käytetyn energian suhdetta esimerkiksi tuotannon määrään, pinta-alaan tai tuotettuun palveluun (Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 11). Hiomakiveä ja sen pintaa voidaan käsitellä eritavoilla. Sorvauksella saadaan uusi tai epätasaisesti kulunut kivi pyöreäksi. Teräyksellä säädetään hiomakiven pintaa, joka on hionnan aikana kosketuksissa puun kanssa. Tasauksella saadaan liian teräväksi käsitelty kivenpinta tylsytettyä. Hiomakiven pintaa voidaan käsitellä myös korkeapaineisella vesisuihkulla eli ns. vesiteräyksellä, jolla poistetaan kiven pinnalle kertyneet epäpuhtaudet. (Heinineva M. 2005.)

Vesihydrauliikkajärjestelmän tärkeimpiä laitteita ovat matala- ja korkeapainepumput, hydrauliikkaveden kierrätyspumppu ja vesihydrauliikan kompressori. Matalapainepumpun sähkömoottorin nimellisteho on 83,6 kW ja

korkeapainepumpun sähkömoottorin 75 kW. Kierrätyspumpun sähkömoottorin nimellisteho on 4 kW.

6.4 Rejektinkäsittely

Rejektinkäsittelyn suurimpia energiankuluttajia ovat rejektijauhimet. Tällä hetkellä kaikki kolme jauhinta on yhtä aikaa käytössä, vaikka yhden jauhimen ollessa epäkunnossa kahdellakin pystytään ajamaan. Kahdella jauhimella ajettaessa rejektin CSF nousee ja siten vaikuttaa hiokkeen laatuun. Kahden jauhimen ajomallia voisi testata pidempäänkin nostamalla kahden jauhimen EOK - taso lähelle kolmen jauhimen EOK tasoa. Kolmen jauhimen ollessa käytössä, jauhimia ajetaan matalilla kuormilla jauhimen nimellistehoon nähden (kuvio 3.)



Kuvio 3. Rejektijauhimien tehot

Lisäksi yhdessä jauhimessa voisi kokeilla erilaisia jauhinteriä, joilla mahdollisesti pystytään ajamaan rejektin alemmalla CSF:n samalla kuormalla.

Rejektin käsittelyyn on jo tehty muutoksia energian säästämiseksi. Rejektin painelajittelun syöttöpumpuista toinen on pysäytetty. Lisäksi rejektin lajittelun 1A-porrasta on siirrytty ajamaan yhdellä lajittimella kahden sijaan. Myös 1B-portaassa on toimittu samoin. Tikkumurskaimista on samaan aikaan käytössä vain yksi. Taulukossa 2 on esitetty rejektinkäsittelyn laitteiden nimellistehoja.

Taulukko 2. Rejektinkäsittelyn laitteiden tehot

Laite	Nimellisteho (kW)
Tärylajitin 1-5	3
Tikkukuljetin 1 ja 2	1,5
Tikkumurskain 1 ja 2	110
Rejektin pumppaussäiliön pumppu	5,5
Rejektisäiliö 1 sekoitin 1 ja 2	22 (tai 33)
Rejektin kaarisihtien syöttöpumppu	75
Kaarisihtien suodosvesipumppu	37
Kaarisihtien massasäiliön sekoitin	11
Rejektisuotimen syöttöpumppu	55
Rejektisuotimen käyttö	5,5
Suihkuvesisäiliön syöttöpumppu	22
Suihkuvesipumppu	45
Sameasuodospumppu	22
Rejektisuotimen purkuruuvi	7,5
Rejektisäiliö 2 sekoitin 1	22
Rejektijauhin 3 syöttöpumppu	45
Rejektin kierrätyspumppu	37
Rejektijauhin 1, 2 ja 3	1120
Välipumppaussäiliön 1 ja 2 sekoitin	11
Rejektijauhin 1 ja 2 syöttöpumppu	55
Rejektisäiliö 3 sekoitin	22
Rejektin painelajittimen syöttöpumppu 1 ja 2	75
Kirkassuodospumppu	75
Rejekti painelajitin 1A/1 ja 1A/2	90
Rejekti painelajitin 1B/1 ja 1B/2	50

6.5 Lajittelu ja saostus

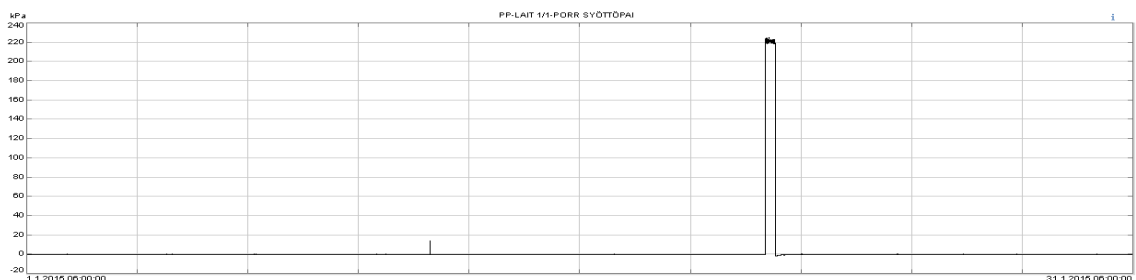
Lajittelun painesihdit ovat kytketty rinnan lajitteluportaisiin, joita on kolme 1A-, 1B- ja 2-porras. 1A-portaassa on neljä lajitinta, joiden moottorien teho 90 kW. 1B-portaan lajittimia on neljä, ja niiden teho on 70 kW. 2-portaan lajittimia on kolme kappaletta. 2-porras ei ole käytössä. Taulukossa 3 on lajittelun ja saostuksen laitteiden nimellistehot.

Taulukko 3. Lajittelun ja saostuksen laitteiden tehot

Laite:	Nimellisteho (kW)
Hiokkeen pumppaussäiliön sekoitin	37
Hiokkeen pumppaussäiliön pumppu	110
Hiokesäiliö 1 sekoitin 1 ja 2	55
PL Painelajittelun 1-portaan syöttöpumppu 1 ja 2	200
PL 1A-portaan painelajitin 1,2,3,4	90
PL 1B-portaan painelajitin 1,2,3,4,5	75
PP-laitoksen 1/1-portaan syöttöpumppu	130
PP-laitoksen 1/2-portaan syöttöpumppu	235
PP-laitoksen 2-portaan syöttöpumppu	?
PP-laitoksen 3-portaan syöttöpumppu	66
PP-laitoksen 4-portaan syöttöpumppu	30
PP-laitoksen 5-portaan syöttöpumppu	15
PP-laitoksen 5-portaan rejektin pumppu	2,2
Kiekkosuodin 1 käyttö	11
Kiekkosuodin 1 repijäruuvi	7,5
Kiekkosuotimien suihkuvesipumppu	132
Kiekkosuodin 2 käyttö	11
Kiekkosuodin 2 repijäruuvi	15
Kiekkosuodin 2 siirtoruuvi	11

Myös lajitteluun on tehty muutoksia energian säästämiseksi. Päälinjan lajittelun syöttöpumpuista toinen on pysäytetty ja toinen on käytössä. Päälinjan lajittelun 1A-portaassa on siirrytty kahden lajittimen käyttöön. Myös 1B-portaassa on alettu käyttämään vain kahta lajitinta.

Pp-laitoksella 1-portaassa 1/2-porras on jatkuvassa käytössä, kun taas 1/1-porrasta käytetään tarvittaessa, eli käytännössä todella harvoin. Esimerkiksi tammikuussa 2015 1/1-porras on ollut käytössä yhteensä n. 8 tuntia (kuvio 4.)



Kuva 4. 1/1-portaan syöttöpaine

6.6 Valkaisu

Valkaisulaitoksella on useita MC-pumppuja, joista suurin osa on varustettu sekä taajuusmuuttajalla sekä säätöventtiilillä. Pumppujen tuottoa säädetään siis kahdella tavalla samanaikaisesti. Tämä aiheuttaa sen, että pumput tarvitsevat enemmän tehoa saadakseen aikaan halutun tuoton, koska venttiili rajoittaa tuottoa.

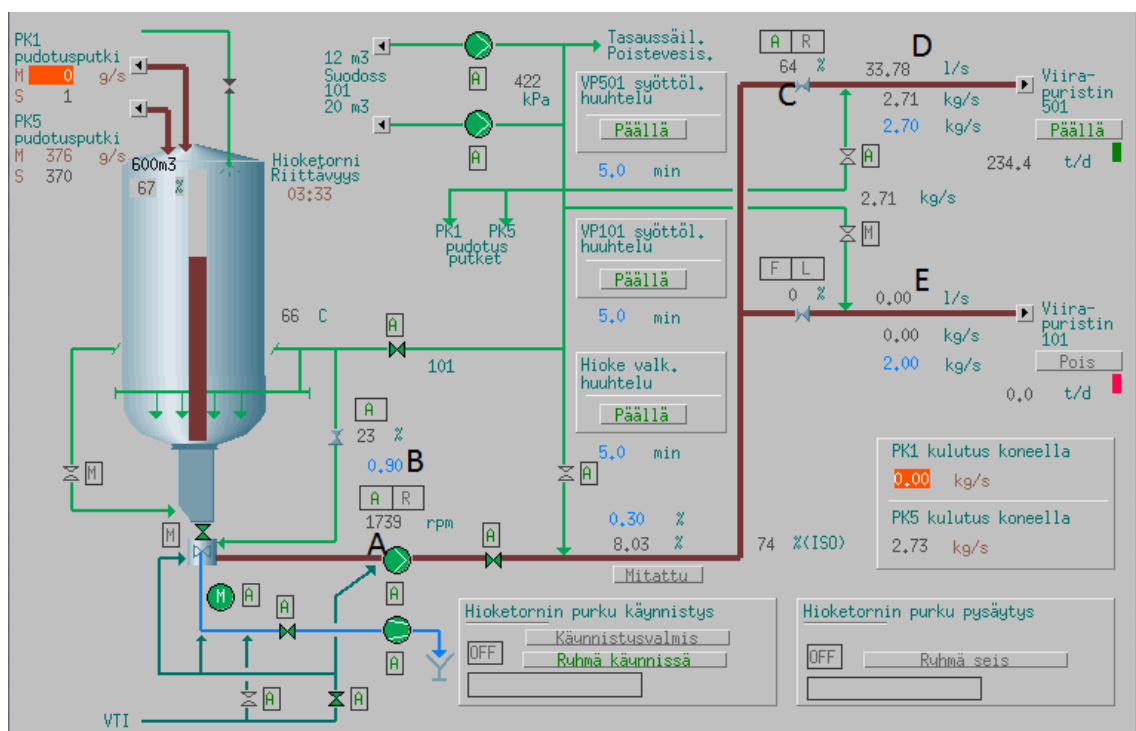
Ensimmäinen ajatus MC-pumppujen energiatehokkuuden parantamiseksi oli muuttaa tuoton säätöä siten, että se tapahtuisi pelkästään pumpun pyörimisnopeuden avulla, ja että säätöventtiili olisi kokonaan auki. Yhdistetty pyörimisnopeus- ja venttiilisäätö on kuitenkin yleinen konstruktio kohteissa, joissa MC-pumpulla säädetään sekä pudotusputken pintaa, että pumpun tuottoa. Em. konstruktio tehdään siksi, että pudotusputken pinta ja pumpun tuotto on helpompi pitää tasaisena. Siitä syystä venttiilisäädön poisto ei ole järkevä ratkaisu. Kuitenkin energiatehokkuuden kannalta paras tilanne olisi, jos pumppujen kierrokset olisivat mahdollisimman alhaiset ja säätöventtiilit mahdollisimman auki. (Anttonen 2015.) Taulukossa 4 on esitetty valkaisun laitteiden nimellistehoja.

Taulukko 4. Valkaisun laitteiden tehot

Laite:	Nimellisteho (kW):
Hiomo MC-pumppu 1	75
Hiomo MC-tyhjöpumppu 1	5,5
Hiomo MC-pumppu 2	200
Hiomo MC-tyhjöpumppu 2	5,5
Fluidisaattori 1	37
MC-pumppu 100	200
MC-tyhjöpumppu 100, 501 ja 502	5,5
Suodossäiliö 101 pumppu 1	110
Suodossäiliö 101 pumppu 2	75
VP501 alaviiran käyttö	55
VP501 yläviiran käyttö	55
Poistoilmakone VP501, VP502	37
Ruuvikuljetin 501	22
Ruuvikuljetin 502	15
Kemikaalisekoitin 501	355
Ruuvikuljetin 503	15
Ruuvikuljetin 504	55
Ruuvikuljetin 505	55
Ruuvikuljetin 506	15
Purkupohja 501 käyttö 1,2 ja 3	22
Ruuvikuljetin 507	30
Ruuvikuljetin 508	30
Ruuvikuljetin 509	22
Suodossäiliö 501 pumppu	30
PK5 katkaisupesupumppu	22
Fluidisaattori 501	30
MC-pumppu 501	110
VP502 Yläviira käyttö	55
VP502 Alaviira käyttö	55
Ruuvikuljetin 510	30
VP501 & Vp502 hydrauliiikapumppu 1 ja 2	11
PK5 laimennusvesipumppu	37
Fluidisaattori 502	30
MC-pumppu 502	75
Hiokesäiliö 501 sekoitin	55
Hiokepumppu 501	90

6.6.1 MC-pumppu 100

MC-pumppu 100 kierrosten säätö tapahtuu siten, että operaattori muuttaa käsin nopeusasettelulukua. Tietty nopeusasettelun luku vastaa tiettyä pumpun pyörimisnopeutta, esimerkiksi luku 0,90 vastaa pyörimisnopeutta 1739 kierrosta minuutissa. Nopeusasettelu pystytään asettamaan tuhannen desimaalin tarkkuudella. Kuviossa 5 on kuva prosessinohjausjärjestelmän sivusta, jossa on MC-pumppu 100 ja sen nopeusasettelun ohjaus.

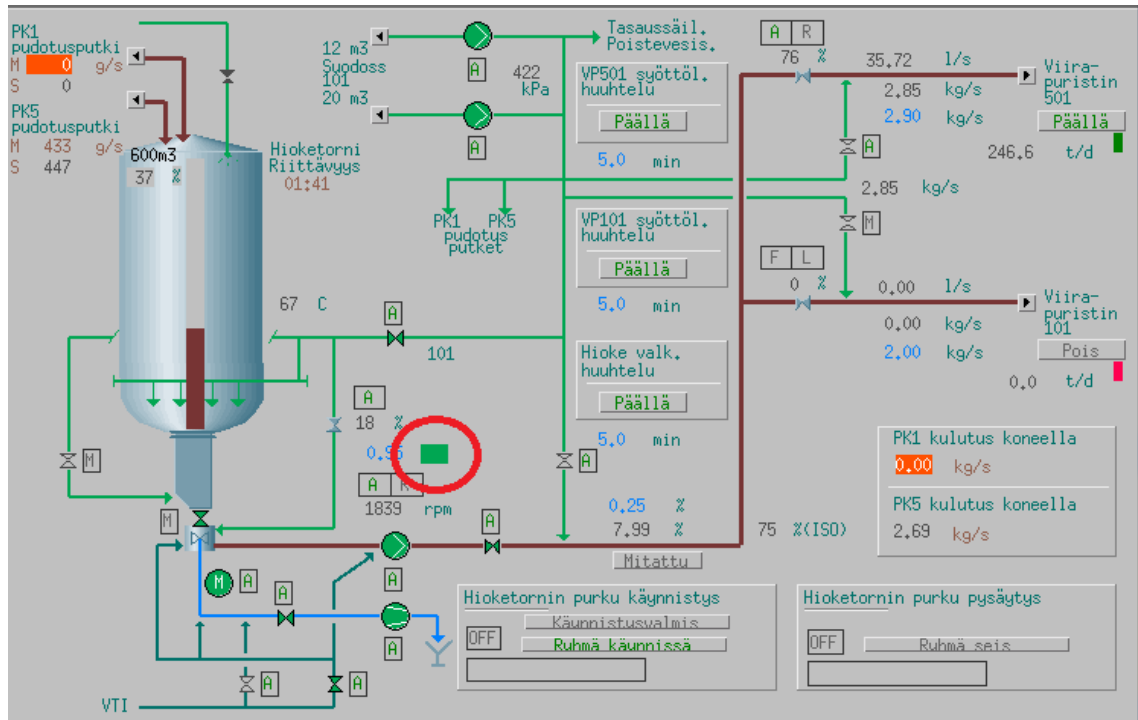


Kuvio 5. MC-pumppu 100 prosessinohjausjärjestelmän näyttö

Kuviossa 5 olevien kirjaimien selitykset:

- A) MC-pumppu 100 ja sen pyörimisnopeus
- B) MC-pumppu 100:n nopeusasettelu
- C) valkaisu linja 5:en säätöventtiili ja sen asento
- D) viirapuristin 501:en syöttömäärä
- E) viirapuristin 101:en syöttömäärä.

Suuren tuotannon ja starttien aikana nopeusasettelu laitetaan usein 1,050. Vaikka tuotanto putoaisi, niin nopeusasettelua ei usein muisteta muuttaa. Tämän vuoksi MC-pumppu 100:n viereen laitettiin liikennevalot ohjaamaan pumpun nopeusasettelua. (kuvio 6)



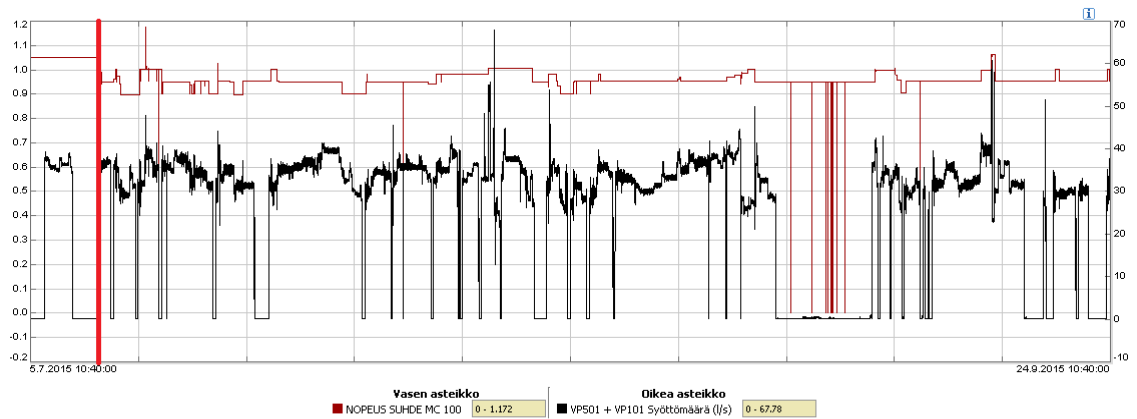
Kuvio 6. MC-pumppu 100 liikennevalo

Vihreä valo ilmoittaa milloin pumpun nopeusasettelu on tuotannon mukaisella optimitasolla. Valo vaihtuu punaiseksi silloin, kun nopeusasettelu on liian suuri tuotantoon nähden. Tuotanto määräytyy viirapuristinten 501 ja 101 yhteenlasketun syöttömäärän mukaan. Valot toimivat aluksi taulukon 5 mukaan.

Taulukko 5. MC-pumppu 100 nopeusasettelun ohjaus

VP501+VP101 syöttömäärä (l/s)	MC-pumppu 100 nopeusasettelu
alle 35	0,900 tai pienempi
alle 40	pienempi kuin 0,950
alle 45	pienempi kuin 1,000
yli 45	1,050 tai pienempi

Kuviossa 7 on esitetty kuinka liikennevalojen lisääminen vaikutti MC-pumppu 100:n nopeusasetteluun. Ennen liikennevalojen lisäämistä asettelu oli 1,05:ssä ja valojen lisäämisen jälkeen asetteluun on tullut paljon enemmän vaihtelua. Liikennevalot lisättiin kuviossa 7 näkyvän punaisen pystyviivan kohdalla.



Kuvio 7. MC pumppu 100 trendi

Liikennevalojen toimintaa testattiin n. kuukauden ajan, jonka aikana huomattiin, että pumpun tuotto ei kaikissa tilanteissa riitä nopeusasettelu ollessa 0,90, vaikka syöttömäärät olivat jopa alle 30 l/s. Tästä syystä liikennevalot muutettiin toimimaan taulukon 6 mukaan.

Taulukko 6. MC-pumppu 100 nopeusasettelu ohjaus

VP501+VP101 syöttömäärä (l/s)	MC-pumppu 100 nopeusasettelu
alle 35	0,950 tai pienempi
alle 45	pienempi kuin 1,000
yli 45	1,050 tai pienempi

Pumpun tuotto on riittänyt liikennevalojen toimintarajojen muuttamisen jälkeen ja pumpun nopeusasettelu on pystytty säätämään siten, että liikennevalot ovat olleet vihreällä.

Liikennevalojen lisäämisen jälkeen MC-pumppu 100:n nopeusasettelu on ollut keskimäärin 0,95. Taulukosta 7 on nähtävissä kuinka paljon teho ja pyörimisnopeus muuttuvat, kun nopeusasettelu putoaa 1,05:stä 0,95:een. Tehot on katsottu taajuusmuuttajalta.

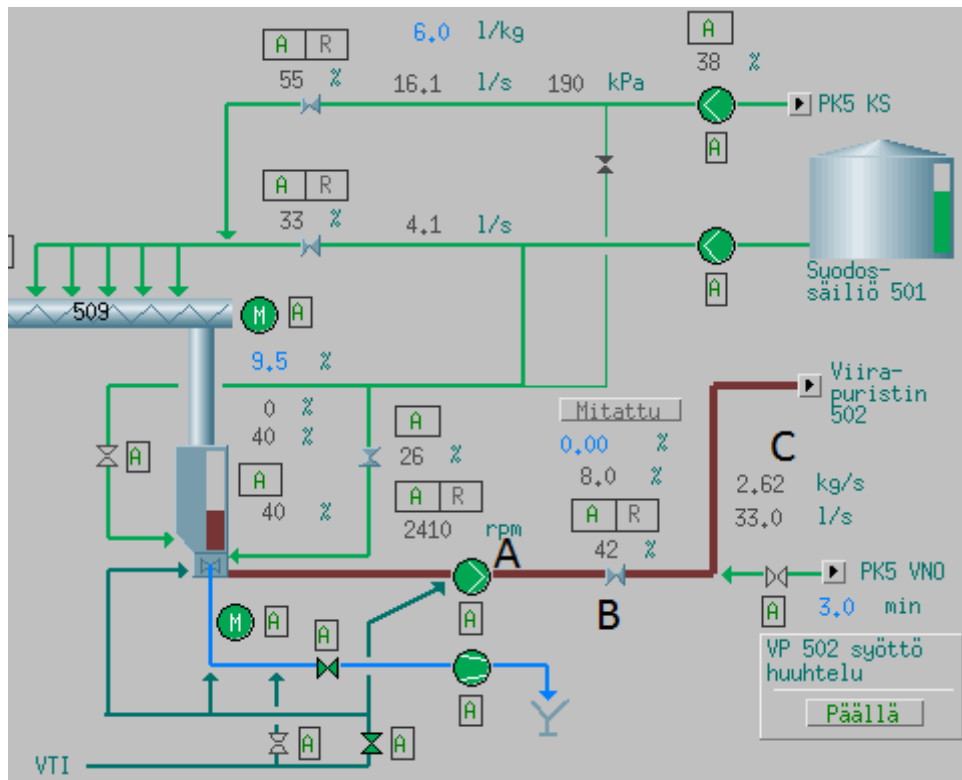
Taulukko 7. MC-pumppu 100 nopeusasettelun, pyörimisnopeuden ja tehon muutos

	Nopeusasetus	Pyörimisnopeus	Teho (kW)
	1,05	2020	67,7
	0,95	1843	54,9
Muutos	0,1	177	12,8

Säästetty teho on siis 12,8 kW. Eli vuorokaudessa säästetään sähköenergiaa 307,2 kWh. Kappaleen 3.3 mukaan sähkön tuotannon hinta 50 €/MWh. Näin ollen rahallinen säästö vuorokaudessa on noin 15,36 €. Eli vuositasolla rahallinen säästö on enimmillään n. 5400 €. Rahallisen säästön määrä vuodessa riippuu hiomon käyntiasteesta eli käyntipäivien määrästä. Tässä laskennassa on käytetty vuoden käyntipäivien määränä 350 vuorokautta.

6.6.2 MC-pumppu 501

MC-pumppu 501 kierrosten säätö tapahtuu automaattisesti peroksidivalkaisutorni 501:den tuotannon asetteluun mukaan, siten että tietty tuotantomäärä vastaa tiettyä pumpun pyörimisnopeutta. Tornin tuotanto vaihtelee välillä 1,9 – 4,8 kg/s, joka vastaa pyörimisnopeutta 2300 – 2700 rpm. Itse pumpun säätöalue on 1200 – 2800 rpm. Pumpun jälkeen on säätöventtiili, joka säätää pudotusputken pintaa virtausta muuttamalla. Pudotusputken pinta 0 – 100 % vastaa virtausta 15 – 70 l/s. (kuviot 8.)

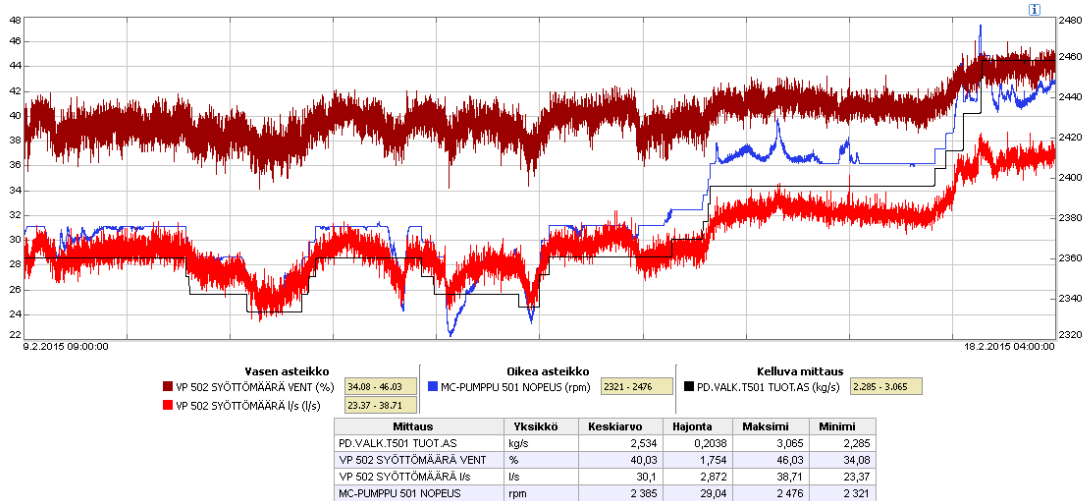


Kuvio 8. MC-pumppu 501 prosessinohjausjärjestelmän näyttö

Kuvassa olevien kirjaimien selitykset:

- A) MC-pumppu 501 ja sen pyörimisnopeus
- B) säätöventtiili ja sen avautuma
- C) tuotanto (l/s ja kg/s).

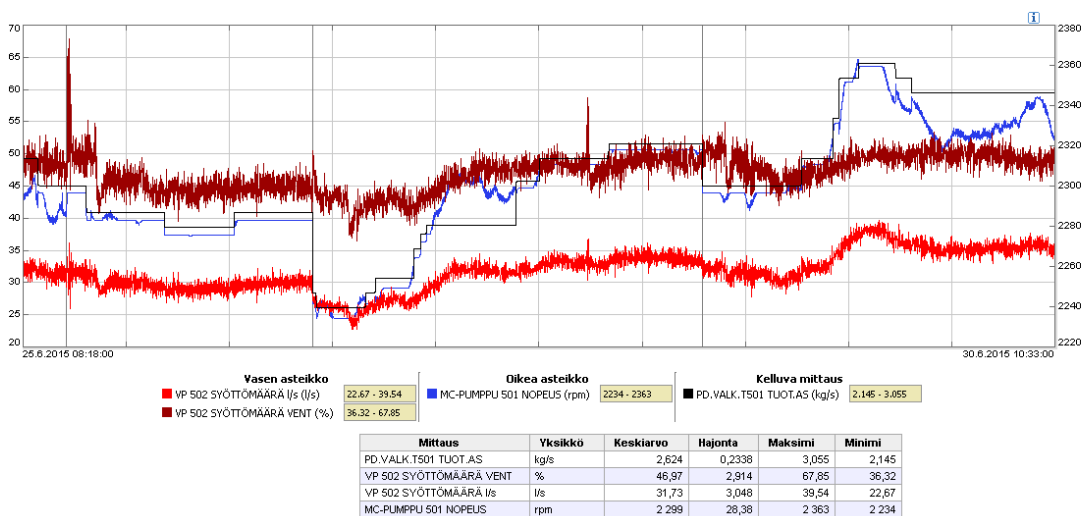
Edellä mainittujen säätöjen takia MC-pumppu 501:den kierrokset ovat suhteellisen korkeat ja säätöventtiilin avautuma suhteellisen pieni. (kuvio 9.)



Kuvio 9. Peroksidivalkaisu torni 501:den tuotannon asettelu, virtaus, MC-pumppu 501:den pyörimisnopeus ja säätöventtiilin avautuma trendi

Alhaisen venttiilin avautuman ja korkean pyörimisnopeuden takia MC-pumppu 501:den säätöaluetta muutettiin siten, että tuotanto 1,9 – 4,8 kg/s vastaa nyt 2200 – 2600 rpm.

Kuviossa 10 on esitetty muutoksen jälkeinen trendi ja tilastotiedot. Pyörimisnopeus on pudonnut n. 100 rpm, aivan kuten pitikin. Virtaus ja tuotannon asettelu ovat lähes samalla tasolla. Venttiilin avautuma on noussut n. 7 prosenttiyksikköä. Eli kaiken kaikkiaan säätöalueen muutokset olivat halutun kaltaiset.



Kuva 10. Peroksidivalkaisu torni 501:den tuotannon asettelu, virtaus, MC-pumppu 501:den pyörimisnopeus ja säätöventtiilin avautuma trendi säätöalueen muutoksen jälkeen.

Taulukossa 8 on nähtävissä säätöalueen muutoksen vaikutukset tehon kulutukseen. Tehot on katsottu taajuusmuuttajalta.

Taulukko 8. MC-pumppu 501 säätöalueen muutoksen vaikutus

Pvm.	Pyörimisnopeus	Syöttömäärä (l/s)	Tuotanto (kg/s)	Teho (kW)
25.3.2015	2393	29,93	2,575	62,4
26.6.2015	2287	30,24	2,5	59,1
Muutos	-106	0,31	-0,075	-3,3

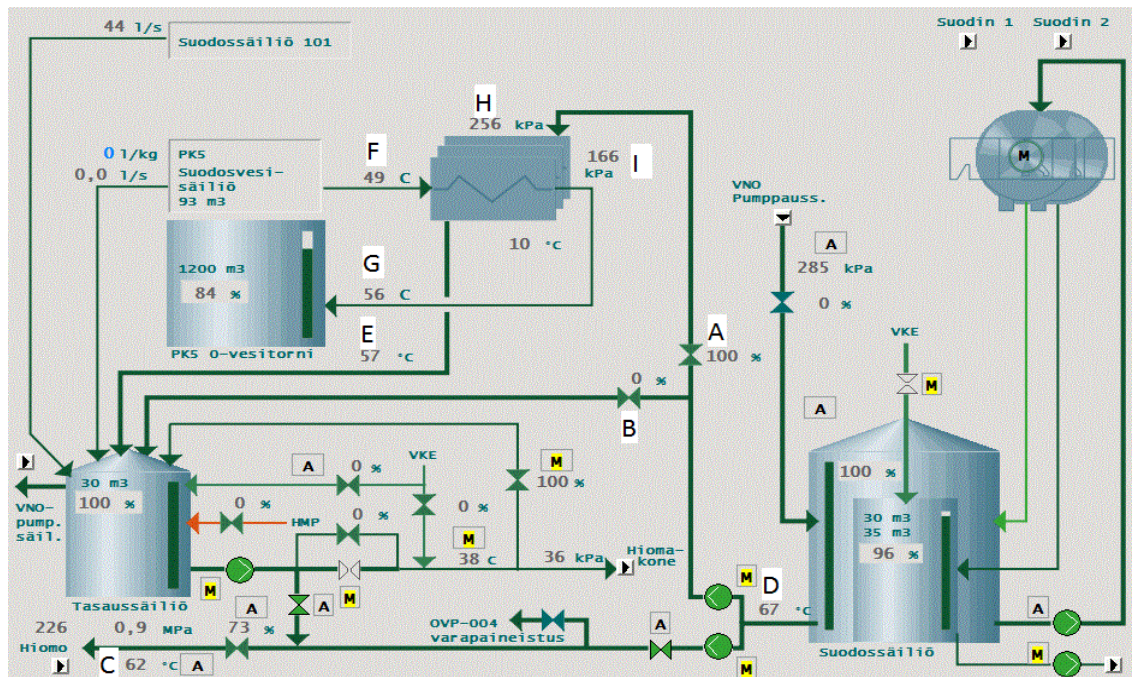
Pyörimisnopeuden pudotessa 106 rpm teho pienenee 3,3 kW. Tämä tarkoittaa sitä, että muutoksella saatu tehon säästö vuorokaudessa on 79,2 kWh. Eli rahallisesti säästö vuorokaudessa on, kappaleen 3.3 mukaan, noin 3,96 €. Vuositasolla rahallinen säästö on, hiomon käyntiasteesta riippuen, enimmillään noin 1400 €

7 LÄMPÖENERGIA HIOMOLLA

Hiokkeen valmistusprosessissa syntyy ylimääräistä lämpöä, jota hyödynnetään eri tavoin. Hiomakoneiden suihkuvesiä pumpataan lämmönvaihtimien kautta, jotka siirtävät lämpöä PK5:den 0-veteen. Hiomon poistevesiä ajetaan myös lämmönvaihtimien kautta, joilla lämmitetään mm. valkaisun laimennusvesiä sekä hiomorakennusta. Lisäksi hiomon salin lämpötilaa säädetään LTO – tornien avulla, jotka poistavat lämmintä ilmaa mm. hiomakoneilta ja säiliöistä, ja käyttävät tätä ilmaa lämmittämään ulkoa tulevaa raitista ilmaa. Höyryä hiomolla käytetään rakennuksen lämmityksen lisäksi mm. hiomakivien lämmitykseen.

7.1 Hiomon 0-veden jäähdytys

Normaalitilanteessa, hiomon ollessa tuotannolla, hiomon 0-vesikierrossa kiertävää vettä pumpataan suodossäiliöstä tasaussäiliöön kahden spiraalilämmönvaihtimen läpi. Lämmönvaihtimia on yhteensä kolme, joista yksi on varalla. Lämmönvaihtimien läpi pumpataan myös PK5:den 0-vettä. Näin lämmönvaihtimien avulla saadaan samanaikaisesti lämmitettyä PK5:den 0-vettä ja jäähdytettyä hiomon 0-vettä. Jos hiomon 0-vesien lämpötila putoaa alle asetusarvon, alkaa lämmönvaihtimille menevän linjan venttiili sulkeutua ja ohituslinjan venttiili avautua. Lämmönvaihtimilla on paine-ero ja lämpötilamittaukset. Paine-eroa mitataan kaikkien kolmen lämmönvaihtimen yli. (kuvio 11.)

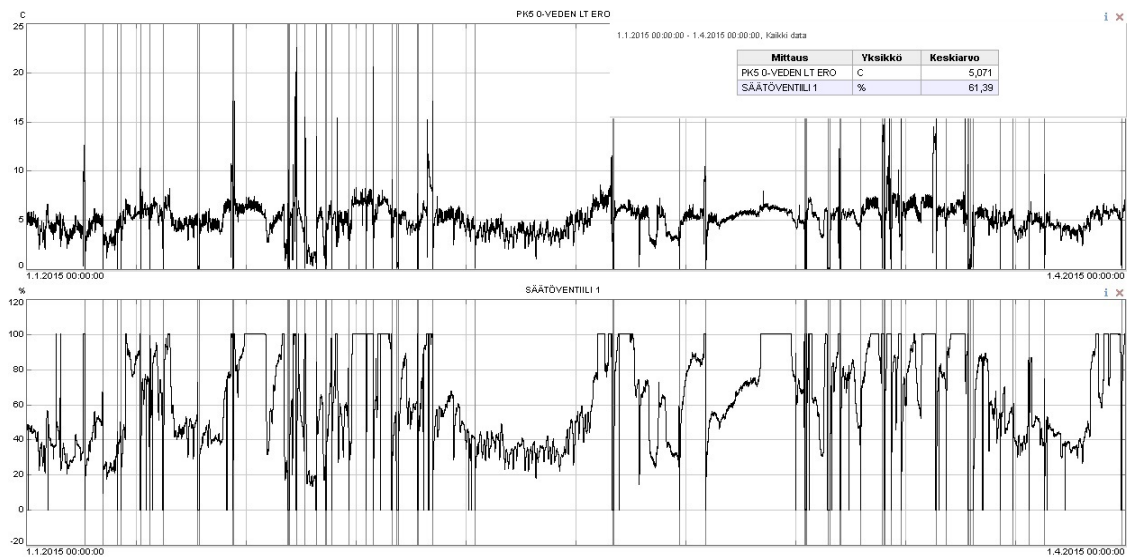


Kuvio 11. 0-vesien lämmönvaihtimet

Kuviossa 11 olevien kirjaimien selitykset:

- A) lämmönvaihtimille menevän linjan venttiilin asento
- B) ohituslinjan venttiilin asento
- C) hiomon suihkuvesien lämpötilan asetusarvo
- D) lämmönvaihtimille menevän hiomon 0-veden lämpötila
- E) lämmönvaihtimilta poistuvan hiomon 0-veden lämpötila
- F) lämmönvaihtimille menevän PK5:den 0-veden lämpötila
- G) lämmönvaihtimilta poistuvan PK5:den 0-veden lämpötila
- H) hiomon 0-vesien paine-ero lämmönvaihtimella
- I) PK5:den 0-vesien paine-ero lämmönvaihtimella.

Jos hiomon 0-vesissä ei ole ylimääräistä lämpöä, eli venttiili A on kiinni ja venttiili B on auki, niin PK5:den 0-veden lämmitys tapahtuu höyryllä. Venttiilin A ollessa auki lämmönvaihtimet lämmittävät PK5:den 0-vettä keskimäärin 5 °C (kuvio 12)



Kuvio 12. PK5:den 0-veden lämpötilaero ja venttiilin A asento.

Lämmönvaihtimien läpi virtaavan veden määrälle ei ole virtausmittausta, joten veden tarkkaa määrää on mahdoton tietää, mutta esimerkiksi kirkassuodospumpun, jolla vettä lämmönvaihtimille pumpataan, nimellistuotto on 350 l/s. Kaavan 1 mukaisesti 350 l/s viiden asteen lämmittämiseen kuluu energiaa:

$$E = \Delta t \times m \times c$$

$$E = 5^{\circ}\text{C} \times 350 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$$

$$E = 0,00732 \frac{\text{GJ}}{\text{s}}$$

Kappaleen 3.3 mukaan höyryn tuottaminen maksaa $5,14 \frac{\text{€}}{\text{GJ}}$. Joten, jos veden lämmitykseen käytetty energia tuotettaisiin höyryllä, sen kustannus sekunnissa olisi $0,0376 \frac{\text{€}}{\text{s}}$. Eli vuorokaudessa kustannus olisi 3250,11 €

Eli lämmönvaihtimien kunnossapitäminen on erittäin tärkeää, sillä niiden avulla saadaan tuotettua paljon lämpöenergiaa ja huomattavasti edullisemmin kuin höyryllä.

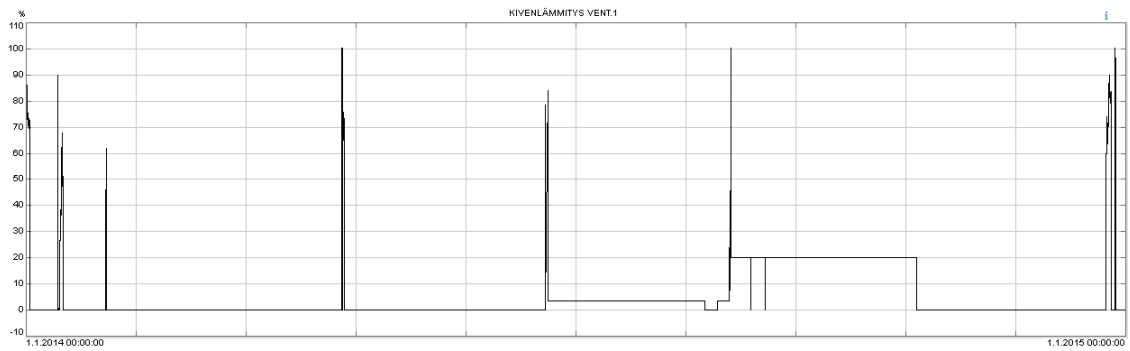
Suunnitelmana oli luoda lämmönvaihtimille hälytys tai jonkin havainnollinen valo-ohjaus informoimaan milloin paine-ero vaihtimien yli kasvaa liian suureksi. Paine-eron kasvaminen voi tarkoittaa liitteen 2 mukaan lämmönvaihtimen siirtopintojen likaantumista, jolloin vaihdin tulisi pestä. Paine-ero on kuitenkin jatkuvasti todella korkea ja siinä on todella paljon vaihtelua. Lisäksi, koska paine-eroa mitataan kaikkien lämmönvaihtimien yli, paine-eron nousu ei kerro mikä vaihtimista vaatii pesua. Edellä mainituista syistä todettiin, että järkevän hälytyksen rakentaminen ei ole mahdollista.

Jotta toimivan hälytyksen tai valo-ohjauksen luominen lämmönvaihtimille onnistuisi, niin paine-eroa tulisi mitata jokaisen lämmönvaihtimen yli. Tällöin tiedettäisiin mikä vaihtimista on pesun tai huollon tarpeessa.

7.2 Hiomakivien lämmitys

Seisokin jälkeen, ennen hiomon käynnistämistä, hiomakivet tulee lämmittää. Lämmitys tapahtuu pumppaamalla lämmintä vettä tasaussäiliöstä hiomakiville. Myös tuotannon aikana voidaan lämmittää pois käytöstä ollutta kiveä edellä mainittuun tapaan ennen kiven käyttöönottoa. Seisokin ja tuotannon aikaisille kivien lämmityksille on omat kiven lämmitys sekvenssit. Seisokin jälkeistä kivien lämmitystä, jossa käytetään höyryä, kutsutaan laitoksen lämmitykseksi.

Laitoksen lämmitys – sekvenssin aikana tasaussäiliön vettä lämmitetään avaamalla säiliöön menevän höyrylinjan venttiili, jolloin höyry sekoittuu suoraan säiliössä olevaan veteen. Kun kivet ovat lämpimänä, sekvenssi sulkee höyryventtiilin. Kuitenkin joissakin tapauksissa höyryventtiili on jätetty hieman auki. Esim. vuonna 2014 höyryventtiili oli unohtunut tarpeettomasti auki usean kuukauden ajaksi, kuten kuviossa 13 näkyy.



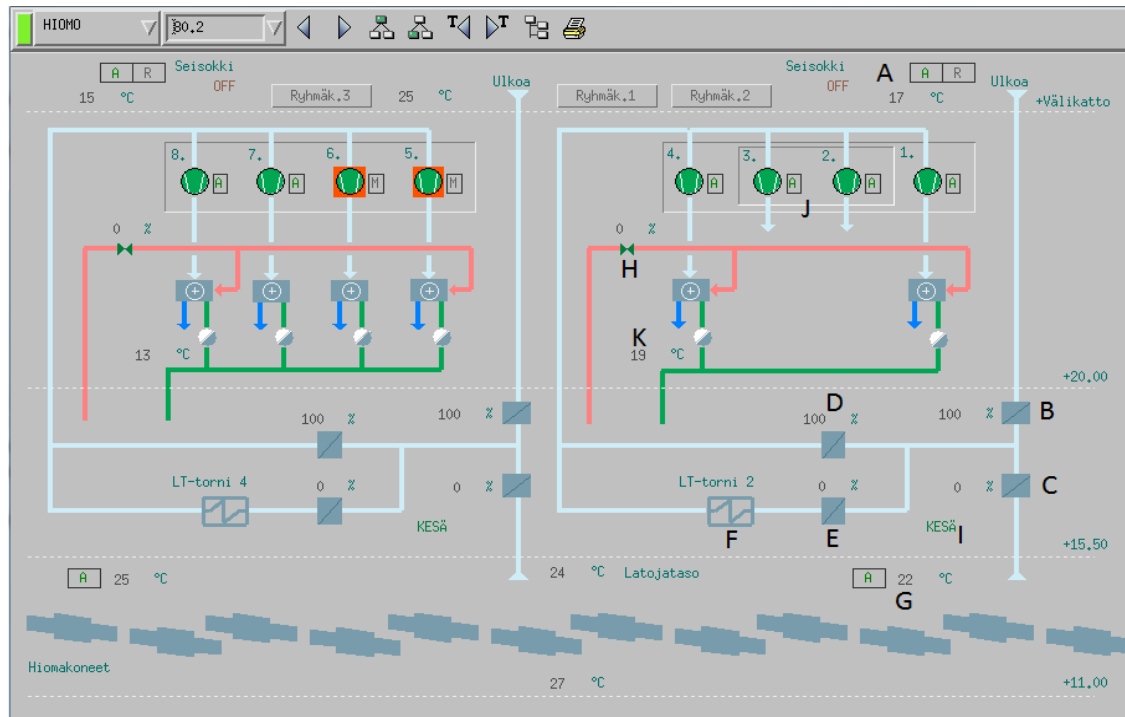
Kuvio 13. Höyryventtiilin asento

Auki unohtumisen estämiseksi höyryventtiilille lisättiin hälytys. Hälytys tulee järjestelmään, jos höyryventtiili on auki ja hiokepumppu 501 on käynnissä. Hiokepumppu 501 pumppaa hioketta hiomolta PK5:den hioketorniin.

7.3 Hiomon ilmastointi

7.3.1 Höngänpoisto ja salin lämpötilan säätö

Hiomolta poistetaan hönkää neljän höngänpoistopuhaltimen avulla. Hönkää poistetaan säiliöistä, hiokekanaalista, suotimilta ja kaarisihdeiltä. Poistuva hönkä johdetaan lämmön talteenotto – tornien läpi, joilla talven aikana lämmitetään sisälle tulevaa raitista ilmaa. LTO – tornien, ilmapeltien ja höyryn avulla salin lämpötila pidetään halutussa asetusarvossa. (kuvio 14)



Kuvio 14. Salin lämpötilan säätö

- A) ullakon tuloilmatilan lämpötilan säädin
- B) raitisilmapelti
- C) kiertoilmapelti
- D) LTO:n ohituspelti
- E) LTO:n pelti
- F) LTO – torni 2
- G) konesalin lämpötila anturi
- H) höyryventtiili
- I) KESÄ / TALVI – valinta
- J) tuloilmapuhallitimet 4 kpl
- K) lauhteen jäätymisvahti.

LTO – torni 2:lla säädetään hiomon salin toista päätä ja LTO – torni 4:llä toista päätä. Neljä tuloilmapuhallinta (J) puhalttaa ilmaa konesaliin ns. latojatasolle.

Säädin A säättää ns. ullakolle tulevan ilman lämpötilaa, jonka asetusarvoa konesalin lämpötila anturi G muuttaa. Esimerkiksi jos konesalin lämpötilaksi on asetettu 20 °C ja salin lämpötila laskee sen alle, niin säätimen A asetusarvo kasvaa.

Normaalitilanteessa raitisilmapelti B on täysin auki ja kiertoilmapelti C on kiinni. Peltien D ja E avulla säädetään LTO – tornin F läpi virtaavaa ilmamäärää tarpeen mukaan. Eli jos ullakon ilman lämpötilaa tulee nostaa, niin ohituspelti D sulkeutuu ja LTO:n pelti E avautuu. Mikäli LTO:n avulla ei saada ullakon lämpötilaa nostettua tavoitteeseen, avautuu höyryventtiili H. Jos tämäkään ei riitä, niin silloin raitisilmapelti B sulkeutuu ja kiertoilmapelti C avautuu.

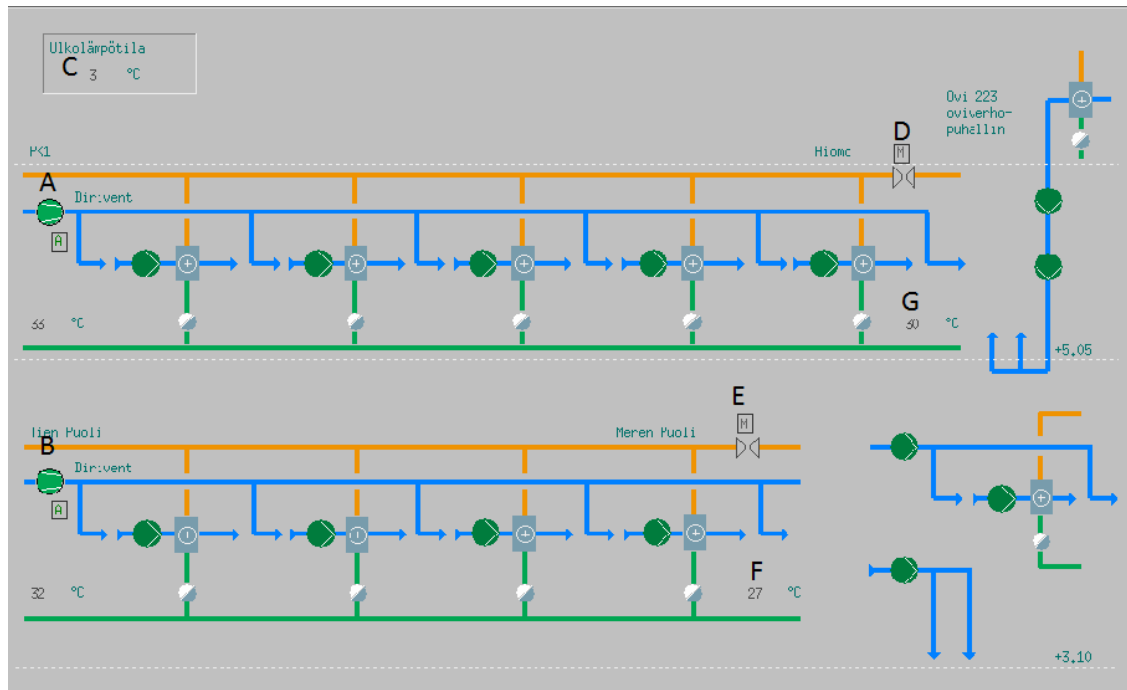
Jäätymisvahti K mittaa lauhteen lämpötilaa. Jos lauhteen lämpötila putoaa alle 8 °C tulee järjestelmään hälytys ja höyryventtiili H avautuu. Jos lämpötila putoaa alle 5 °C, pysähtyvät tuloilmapuhaltimet J.

KESÄ/TALVI – valinnalla I säädetään raitis- ja kiertoilmapelttien asentoa. TALVI – säädön ollessa päällä raitisilmapelti on 50 % enemmän kiinni ja kiertoilmapelti vastaavasti 50 % enemmän auki.

Talven aikana TALVI – valinta on syytä pitää mahdollisuuksien mukaan päällä, sillä se vähentää höyryn kulutusta salin lämmityksessä. TALVI – valinnan ollessa päällä salin ilmanlaatu heikkenee, koska raittiin tuloilman määrää vähenee.

7.3.2 Sali-ilma kierrätys ja tasojen lämmitys

Hiomo rakennuksen eri tasojen lämmitys ja sali-ilman kierrätys tapahtuu ns. Dirivent – järjestelmällä, jossa Dirivent – puhaltimella puhalletaan ilmaa kanavistoon ja suuttimiin. Suuttimien suuri ilman nopeus tempaa mukaan ympäröivää ilmaa, jota siirretään lämpimiltä alueilta kylmille alueille. Lisälämmitys tapahtuu höyrypattereilla varustetuilla kiertoilmapuhaltimilla. (kuvio 15.)



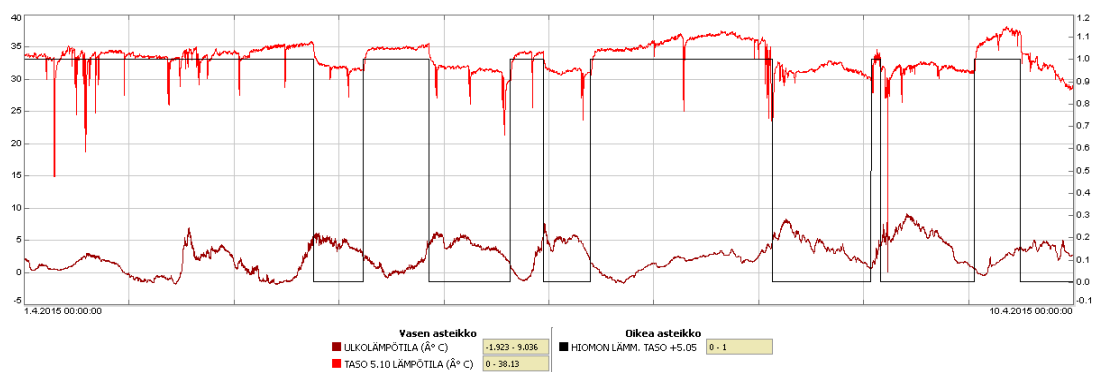
Kuvio 15. Sali-ilman kierrätys ja tasojen lämmitys

- A) Dirivent – puhallin 1
- B) Dirivent – puhallin 2
- C) ulkoilman lämpötila mittaus
- D) höyryventtiili 1
- E) höyryventtiili 2
- F) tason +5.10 lämpötilamittaus
- G) tason +3.10 lämpötilamittaus.

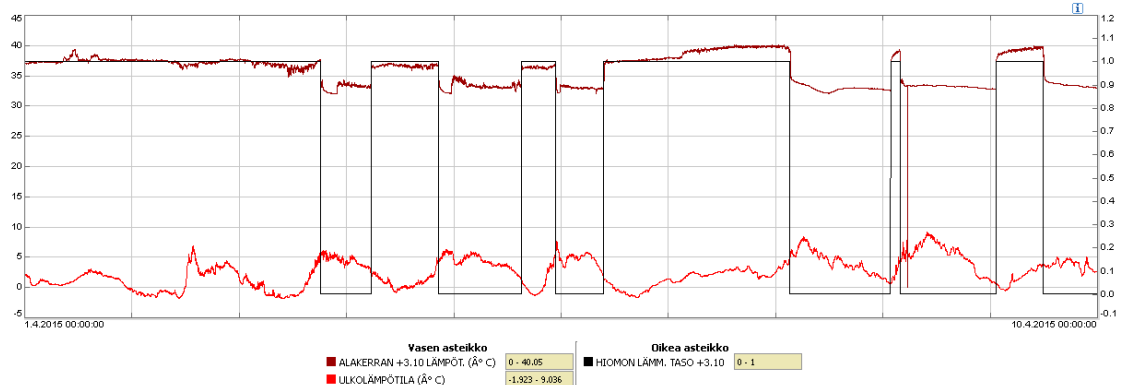
Lisälämmitys tapahtuu siten, että kun ulkoilman lämpötila C laskee alle +2 °C, niin höyryventtiilit 1 ja 2 (D ja E) avautuvat. Vastaavasti kun ulkoilman lämpötila nousee yli +5 °C, niin höyryventtiilit sulkeutuvat.

Em. lisälämmitys säätö aiheuttaa sen, että kun ulkoilman lämpötila on 0 °C lähellä, niin tasojen +3.05 ja +5.05 lämpötilat nousevat erittäin korkeiksi ja kuluttavat tarpeettomasti höyryä. (kuvio 16. ja 17.) Lisäksi hiomon

prosessinhoitajat joutuvat käsisäädöllä ajamaan venttiileitä kiinni ja auki tasojen lämpötilan mukaan. Tämän vuoksi säätöön suunniteltiin muutos, jossa tasojen lämpötilamittaukset F ja G lisättiin säätöön, siten että kun em. lämpötilat nousevat yli +35 °C höyryventtiili sulkeutuu. Ja vastaavasti kun lämpötilat laskevat alle +30 °C, niin höyryventtiili aukeaa. Tasoilla tulisi lisäksi olla omat säädöt, eli esimerkiksi tason +3.05 höyryventtiili voisi olla auki vaikka +5.05 tason venttiili olisi kiinni.



Kuvio 16. Tason +5.05 lämpötila, ulkolämpötila ja höyryventtiilin asento



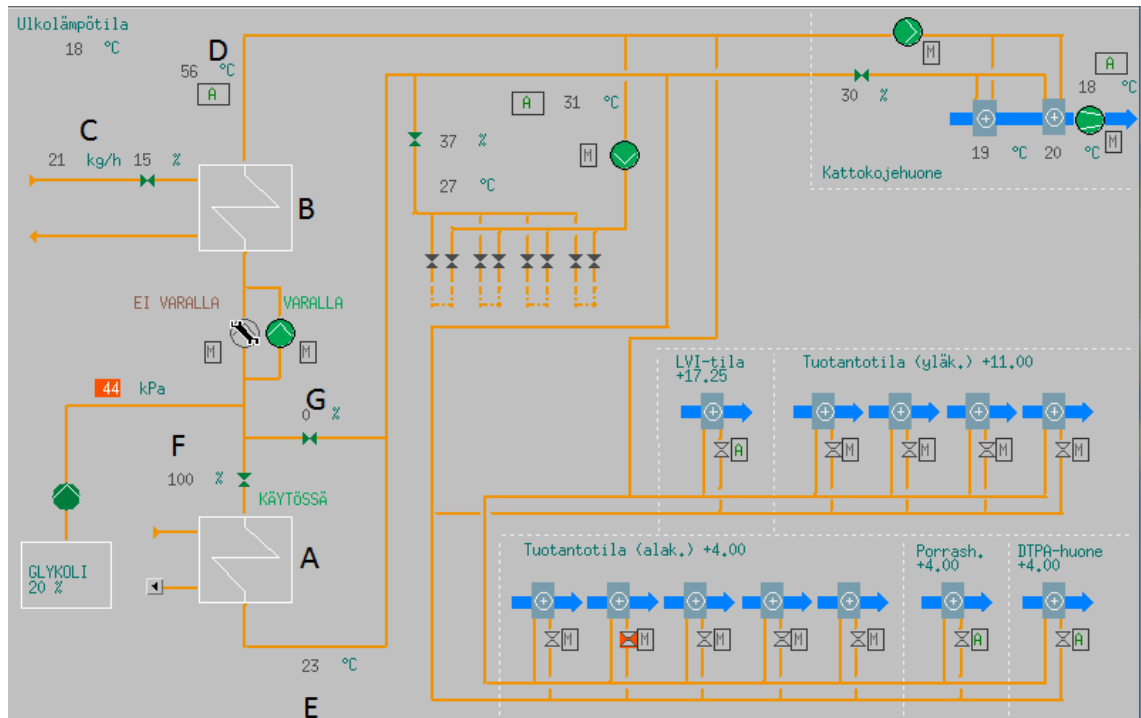
Kuvio 17. Tason +3.05 lämpötila, ulkolämpötila ja höyryventtiilin asento

Kuvion 15 lämpötilamittauksen tulokset eivät tallennu järjestelmään, joten siitä ei ole historiatietoja saatavilla. Siksi kuvioissa 16 ja 17 on käytetty ulkolämpötilamittausta hiomon toisesta prosessista.

Suunnitellusta säädöstä kuitenkin luovuttiin, sillä höyrypatterit voivat jäätyä, jos höyryventtiili on pakkasella liian pitkään kiinni (Liiten 2015).

7.3.3 Valkaisurakennuksen lämmitys

Valkaisurakennuksen lämmitys tapahtuu kierrättämällä lämmitysvettä lämminilmakoneiden pattereiden läpi. Lämmitysveden lämmitys tapahtuu kahdella lämmönvaihtimella.



Kuvio 18. Valkaisun lämmitys

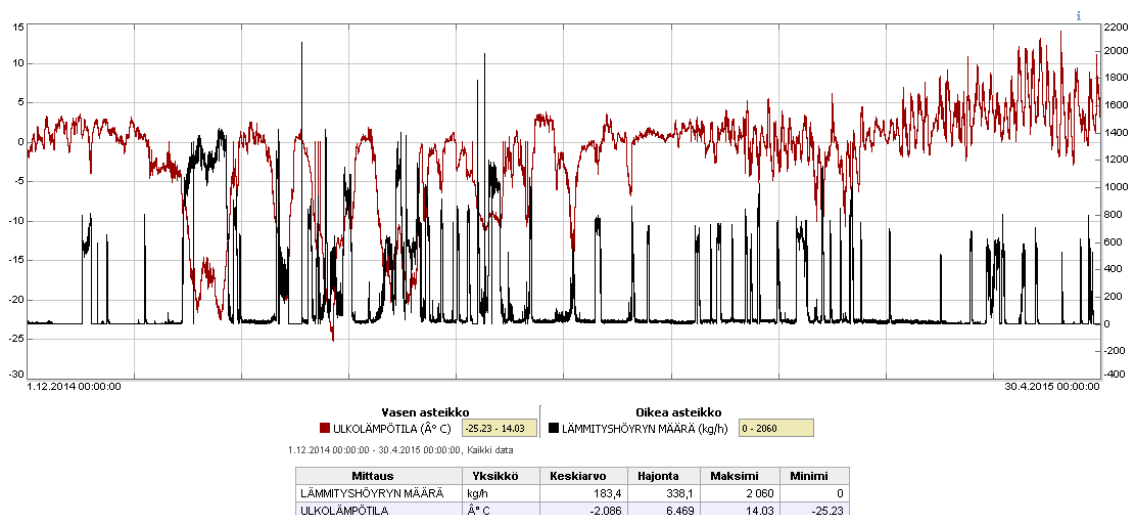
- lämmönvaihdin 1
- lämmönvaihdin 2
- höyryventtiilin asento ja höyryn virtausmäärä
- lämmitysveden lämpötila vaihtimien jälkeen
- lämmitysveden lämpötila ennen vaihtimia
- lämmönvaihdin 1 ohitus venttiili 1
- lämmönvaihdin 1 ohitus venttiili 2.

Lämmönvaihdin 1 lämmittää lämmitysvettä hiomon suodosveden avulla. Suodosvesiä pumpataan suodoksen poistopumpulla yhteensä neljän

lämmönvaihtimen läpi, joilla lämmitetään lämmitysveden lisäksi mm. PK5:den valkaisu kirkassuodosta. Lämmönvaihdin 2 käyttää lämmitysveden lämmitykseen höyryä.

Lämmönvaihtimilta lähtevän veden lämpötilalle annetaan asetusarvo, jota kaksi lämmönvaihdinta pyrkii saavuttamaan. Talvisin asetusarvon tulee olla n. 70 °C, jotta valkaisu eri tiloihin riittäisi lämmitystä. (Lehtonen 2015)

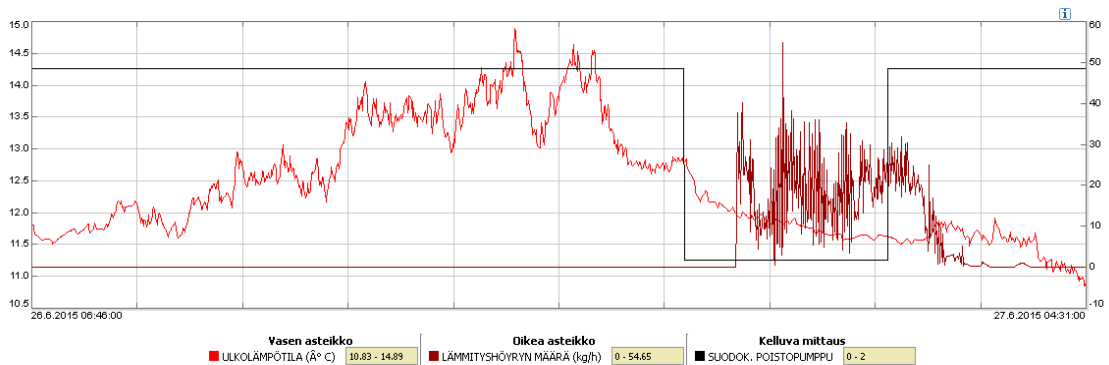
Höyryn käyttö lämmitykseen vaihtelee suuresti ulkoilmanlämpötilan mukaan. Kovimmilla pakkasilla höyryn kulutus voi nousta 1000 kg/h. 1.12.2014 – 30.4.2015 välisenä aikana höyryn kulutus oli keskimäärin n. 183 kg/h. (kuvio 19.)



Kuvio 19. Valkaisurakennuksen lämmityksen höyrynkulutus 1.12.2014 – 30.4.2015

Jos höyryä kuluu 183 kg/h eli 1,83 t/h ja höyryn entalpia on kappaleen 4 mukaan 2,74 GJ/t, niin höyryn energiasisältö tunnin aikana on $0,50 \frac{\text{GJ}}{\text{h}}$. Kun höyryn tuotanto maksaa kappaleen 3.3 mukaisesti 5,14 €/GJ, niin lämmityshöyryn tuottaminen maksaa tunnissa $2,57 \frac{\text{€}}{\text{h}}$. Eli viime talven aikana, joulukuusta toukokuuhun, valkaisurakennuksen lämmitykseen kului kuuden kuukauden aikana rahaa keskimäärin 9252 €

Lämmönvaihdin 1:en toimintaan tulee kiinnittää huomiota, sillä sen optimaalinen toiminta vähentää lämmönvaihdin 2:lla käytettävän höyryn määrää. Vaikka lämmönvaihdin 1:en läpi virtaavan suodosveden paine-ero on ollut korkea jo pidemmän aikaa, niin silti sen tuottama lämpö vähentää höyryn kulutusta. Kuviossa 20 on esitetty, kuinka seisokin aikana, kun lämmönvaihdin 1 ei ollut käytössä, höyryn kulutus lämmönvaihdin 2:lla nousi.

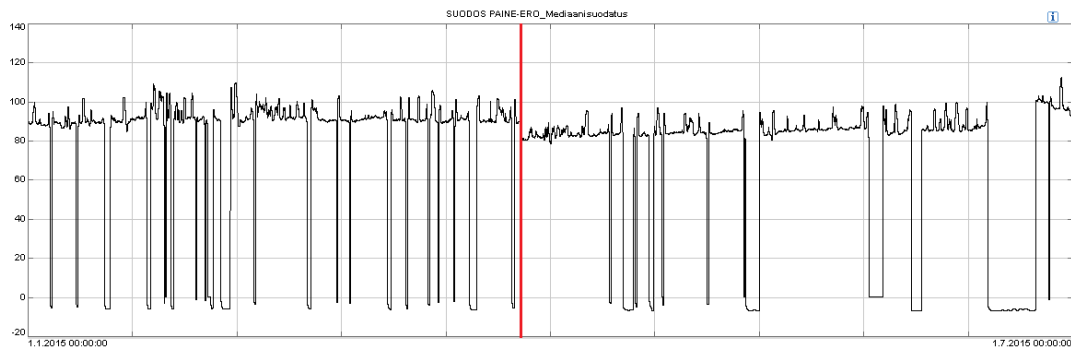


Kuvio 20. Höyryn kulutus seisokin aikana

Lämmönvaihdin 1:lle oli tarkoitus tehdä valo-ohjaus ilmoittamaan milloin vaihdin tulisi pestä. Tämä osoittautui kuitenkin mahdottomaksi, mm. puutteellisten mittausten ja useiden muuttujien takia.

Lämmönvaihdin 1:lle ei ole omaa lämpötilamittausta, joka mittaisi lämmitysveden lämpötilan muutosta pelkästään ko. lämmönvaihtimella. Sen sijaan lämmitysveden lämpötilaa mitataan sekä ennen että jälkeen lämmönvaihtimia 1 ja 2. Lisäksi lämmitysvesi voidaan ohjata kokonaan tai osittain lämmönvaihdin 1:den ohi venttiilien avulla. Edellä mainittujen asioiden takia lämmitysveden lämpötilan muutokseen perustuvaa hälytystä tai valo-ohjausta ei voitu tehdä.

Suodosveden paine-ero on noussut pitkällä aikavälillä katsottuna. Kuviossa 21 on esitetty suodosveden paine-ero käyttämällä mediaanisuodatusta poistamaan korkeat piikit paine-erossa. Lämmönvaihdin 1 on pesty punaisen pystyviivan kohdalla.



Kuvio 21. Suodosveden paine-ero

Vaikka pesun jälkeisessä paine-erossa on havaittavissa selvää nousua, niin luotettavan paine-eroon perustuvan hälytyksen tai valo-ohjauksen rakentaminen ei ole mahdollista. Paine-eron nousu on niin hidasta, että kun hälytys paine-eron liiallisesta nousemisesta tulee, niin lämmönvaihdin olisi tullut pestä jo huomattavasti aiemmin.

Valo-ohjauksen tai hälytyksen rakentaminen ei ole nykyisillä lämpötila- tai paine-eromittauksilla mahdollista. Siitä syystä lämmönvaihdin 1:den huoltoon järkevin vaihtoehto onkin säännöllinen pesu 2 - 3 kuukauden välein.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

8.1 Tutkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kolme asiaa: hiomon energiatehokkuuden parantaminen sähkön ja lämmön osalta, energiankulutuksen seurannan kehittäminen sekä luoda energiatehokkuuden seurantatyökalu.

Sähkön osalta energiatehokkuutta saatiin parannettua kahden pumpun toimintaa optimoimalla. Sähkön kulutuksen vähentämistä vaikeutti vähäisten nopeussäädöllä varustettujen pumppujen määrä. Nopeussäädöllä varustettujen pumppujen pyörimisnopeutta optimoimalla voidaan mahdollisesti pienentää sähkön kulutusta. Lämmön osalta parannuskohteita ei juuri löytynyt. Hiomon ollessa käynnissä syntyy ylimääräistä lämpöä ja sitä käytetään tehokkaasti hyväksi. Seisokin aikana, kun ylimääräistä lämpöä ei ole, lämmityshöyryn käyttö lisääntyy huomattavasti, mutta silloinkin hiomon höyryn kulutus on koko tehtaan mittakaavassa todella vähäistä.

Tutkimuksen lopputuloksena tulleet muutokset käytiin hiomon henkilöstön kanssa läpi. Tämän tehtiin hiomon valvomossa jokaisen vuoron kanssa erikseen, vuoron ollessa töissä. Lisäksi hiomon valvomoon toimitettiin liitteet 3, 4 ja 5, joissa kerrotaan konkreettiset muutokset hiomon prosessinohjaukseen. Lisäksi keskusteltiin lämmönvaihtimien toiminnasta ja säännöllisen pesun vaikutuksesta niiden toimintaan. Hiomon henkilöstö suhtautui tutkimukseen ja sen lopputuloksiin positiivisesti, ja ovat aktiivisesti käyttäneet luotua seurantatyökalua. Toivottavasti tutkimuksessa aikaansaadut hyödyt kannustavat hiomon henkilöstöä miettimään toimintaansa ja prosessia myös energiatehokkuuden näkökulmasta.

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda useita seurantatyökaluja hiomon eri laitteille. Seurantatyökaluina toimisivat liikennevalot, jotka ilmoittaisivat hiomon prosessinohjaukselle toimiiko kyseinen laite optimaalisesti energiankulutuksen kannalta. Valitettavasti liikennevalo-ohjaukseen soveltuvia laitteita oli hiomolla

todella vähän. Lopulta energiankulutuksen seurantaan helpottamaan luotiin seurantatyökalu vain MC-pumppu 100:lle. Tavoitteena oli saada luotua samanlainen valo-ohjaus myös jollekin lämmönvaihtimelle, joka kertoisi prosessinhoitajille milloin vaihdin tulisi pestä. Muun muassa puutteellisten mittausten takia tätä ei pystytty tekemään. Eli tutkimuksen tuomat muutokset jäivät ennako-odotuksiin nähden pieniksi.

8.2 Pohdintaa tutkimusprosessista

Tutkimuksen tekemiseen kului aikaa ennakoitua kauemmin. Ennen kaikkea tutkimuksen alkuvaiheessa oli vaikea päättää miten hiomon energiatehokkuutta alettaisiin kehittää. Keskityttäisiinkö tutkimuksessa enemmän koko prosessiin vai yksittäisiin laitteisiin? Lopulta kuitenkin laitteiden energiatehokkuudesta löytyi enemmän kehitettävää.

Energiatehokkuuteen liittyvää kirjallisuutta ja materiaalia oli hyvin saatavilla ja sen soveltaminen tutkimukseen onnistui helposti. Myös laitteet, joita tutkittiin ja pyrittiin kehittämään, löytyivät helposti. Laitteiden toimintaan tehtyjen muutosten jälkeen oli seurattava riittävän pitkään, jotta selviää miten muutokset vaikuttavat. Kun muutokset oli todettu toimiviksi, täytyi ne vielä tiedottaa hiomon henkilöstölle. Viimeisenä vaiheena oli vielä tutkimusraportin tekeminen, johon myös kului enemmän aikaa kuin olin odottanut.

Ennen tutkimuksen aloitusta tiesin jonkin verran hiomon toiminnasta, mutta tutkimuksen tekemisen aikana opin paljon uutta hiomon prosessista ja laitteista. Lisäksi opin paljon myös pumppujen ja lämmönvaihtimien toiminnasta, kunnossapidosta ja energiatehokkuudesta.

8.3 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta kuvataan usein käsitteillä reliabiliteetti ja validiteetti. Reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimuksen mittaustulosten toistettavuutta. Mittauksen tai tutkimuksen reliabiliteetti tarkoittaa siis sen kykyä antaa ei-

sattumanvaraisia tuloksia. (Reliability in research 2012; Hirsjärvi ym. 2009, 231.) Reliaabelius voidaan todeta usealla tavalla. Esimerkiksi kvantitatiivisille tutkimuksille on kehitetty tilastollisia menettelytapoja mittareiden luotettavuuden arviointiin. (Hirsjärvi ym 2009, 231.) Validiteetti ilmaisee miten hyvin tutkimuksessa käytetty tutkimusmenetelmä mittaa sitä ilmiön ominaisuutta, mitä on tarkoituskin mitata (Shuttleworth, M. 2008b). Eli jos mittaustulokset osoittavat, että saatu tieto vastaa vallalla olevaa teoriaa tai pystyy tarkentamaan ja parantamaan sitä, niin silloin tulos on validi (Tutkimuksen validiteetti s.a.). Validiutta pystytään parantamaan myös käyttämällä tutkimuksessa useita tutkimusmenetelmiä. (Hirsjärvi ym. 2009, 232).

Tutkittujen MC-pumppujen tehot tarkistettiin useita kertoja taajuusmuuttajalta, ja joka kerralla teho oli pysynyt samana, jos pyörimisnopeus oli pysynyt samana. Eli niiden osalta tutkimuksen reliabiliteetti oli hyvä. Lämmönvaihtimien mittauksilta ei saatu tarpeeksi luotettavia mittaustuloksia, jotta niitä olisi voitu hyödyntää tässä tutkimuksessa. Jos näiden mittausten perusteella olisi esimerkiksi luotu energiatehokkuuden seurantatyökalu, olisi se heikentänyt tutkimuksen reliabiliteettia.

Tutkimuksen validiteetti on hyvä. Pumppujen energian kulutus väheni pyörimisnopeutta pienennettäessä. Lämmönvaihtimien pesu pienensi paineroa lämmönvaihtimen yli, ja lisäksi ylijäämälämmön hyödyntäminen lämmönvaihtimilla vähensi höyryn kulutusta merkittävästi. Nämä kaikki tulokset tukevat laitteiden toimintaan liittyvää teoriaa. Koska tutkimuksen validiteetti ja reliabiliteetti ovat hyvät, voidaan tutkimuksen luotettavuuden olevan myös hyvä.

8.4 Tutkimuksen hyödynnettävyys ja kehitysehdotukset

Samanlaista prosessin tarkastelua, jota tutkimuksessa hiomolle tehtiin, voidaan tehdä myös muissa prosesseissa. Esimerkiksi höyryn käytön osalta, voidaan selvittää mihin höyryä käytetään ja miten sen kulutusta pystyttäisiin vähentämään. Sähkön kulutusta pystytään mahdollisesti vähentämään prosesseissa, joissa on taajuusmuuttajakäyttöillä varustettuja pumppuja.

Esimerkiksi pumpun säätöaluetta ja tuottamaa painetta optimoimalla saadaan parannettua prosessin energiatehokkuutta.

Tutkimuksessa tutkittiin ja kehitettiin hiomon nykyistä prosessia ja laitteita. Investoimalla nopeussäädettyihin pumppuihin on mahdollista pienentää pumppauksen sähkön kulutusta. Tämä tietysti vaatii vertailun investoinnin suuruuden ja saatujen kustannussäästöjen välillä, joiden on oltava niin suuria, että ne maksavat investoinnin takaisin kahden vuoden aikana. Pumppujen energiatehokkuutta voi parantaa nopeussäädön lisäksi myös esimerkiksi juoksupyörän kokoa pienentämällä (Energiatehokaspumppausjärjestelmä 2009, 7). Lämmönvaihtimille suunnitellut energiatehokkuuden seurantatyökalut ja hälytykset eivät onnistuneet puuttuvien tai sopimattomien mittausten takia. Lisäämällä uusia tai parantamalla vanhoja mittauksia pystyttäisiin paremmin seuraamaan lämmönvaihtimien kuntoa ja toimintaa.

LÄHTEET

- Aineiston analyysimenetelmät 2015. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 25.11.2015.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/aineiston-analyysimenetelmät>
- Anttonen, K. 2015. Andritz Oy. Sales Manager. Keskustelu. 25.5.2015
- Blakstad, O. 2008. Experimental Research. Viitattu 7.11.2015.
<https://explorable.com/experimental-research>
- Empirical Research 2009 Explorable.com. Viitattu 4.11.2015.
<https://explorable.com/empirical-research>
- Energiankäytön ja energiatehokkuuden seuranta 2015. Motiva Oy.
Viitattu 1.11.2015.
http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energiankayttoa/seuranta_ja_raportointi/energiankayton_ja_energiatehokkuuden_seuranta
- Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä 2015. Motiva Oy.
Viitattu 10.11.2015 http://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry-ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf
- Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä 2015. Motiva Oy.
Viitattu 10.11.2015.
http://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAINEISTO.pdf
- Energiatehokas pumppausjärjestelmä 2009. Motiva Oy. Viitattu 8.11.2015.
http://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas_pumppausjarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf
- Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012. Motiva Oy. Viitattu 15.11.2015.
http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teollisuuskiinteisto.pdf
- Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta 2014.
Motiva Oy. Viitattu 27.10.2015.
http://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuuden_mittaus-ja_seurantajarjestelman_hankinta.pdf
- Energiatehokkuus 2014, Viitattu 3.7.2014
<http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>
- Energiatehokkuus käsitteiden viidakossa 2011. Viitattu 3.7.2014
http://teknologiateollisuus.fi/file/11650/33_energiakasitteet_200611.pdf.html
- Energiatehokkuuslaki 30.12.2014/1429
- Energy Diagnostics Application. Savcor Wedge.

- Heat Exchanger. Viitattu 23.10.2014
http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger
- Heikkilä T. 2014. Tilastollinen tutkimus. 9. painos. Helsinki: Edita
- Heinineva M. 2005. Hiomakiven käsittely.
- Heinineva M. & Ylimäki J-P. 2014. LWC – Hiomo.
- Hiokkeen peroksidivalkaisu 2004. LCA Engineering Oy 2004.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. painos. Helsinki: Tammi.
- ISO 50001 - Energy management, Viitattu 23.3.2015
<http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm>
- Kaarakka M. 2015a. Stora Enso Oyj. Prosessin kehityspäällikkö. Keskustelu. 7.4.2015
- Kaarakka M. 2015b. Stora Enso Oyj. Prosessin kehityspäällikkö. Keskustelu. 8.5.2015
- Kakaç S. & Liu H. 2002. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd ed.). CRC Press
- Laadullinen analyysi. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 25.11.2015.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/metelmapolkuja/metelmapolku/aineiston-analyysimenetelmat/laadullinen-analyysi>
- Lehtonen, E. 2015. Stora Enso Oyj. Prosessinhoitaja. Keskustelu. 29.4.2015
- Liiten, S. 2015. Hiomon sali-ilman kierrätys. Email sauli.liiten@efora.fi 24.6.2015.
- Määrällinen analyysi. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 23.11.2015.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/metelmapolkuja/metelmapolku/aineiston-analyysimenetelmat/maarallinen-analyysi>
- Mörsäri H. 2015. Stora Enso Oyj. Suunnittelupäällikkö. Keskustelu. 19.3.2015.
- Nummenmaa, L., Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2014. Tilastollisten menetelmien perusteet. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro
- Nykänen P. 2015, Stora Enso Oyj, Energiatalouspäällikkö, keskustelu, 18.3.2015
- Palsanen, J. MC-pumppu ja MC-teknologia. 2008. Viitattu 8.11.2015.
<https://www.papermakerswiki.com/innovations/sellun-valmistus/mc-pumppu>
- Pihlaja, J. 2004. Tutkielman ongelmia ratkaisemaan. Lahti: SOCEDA

- Ojasalo K., Moilanen T. & Ritalahti J. 2009. Kehittämistyön menetelmät. 2009. 1. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Reliability in research 2012. Lund research Ltd. Viitattu 19.11.2015
<http://dissertation.laerd.com/reliability-in-research.php>
- Saarinen, I. 2013. Energy Efficiency Management. Jyväskylän asiakasseminaari 17.1.2013
- Shuttleworth, M. 2008a. Case Study Research Design. Viitattu 26.11.2015.
<https://explorable.com/case-study-research-design>
- Shuttleworth, M. 2008b. Validity and reliability. Viitattu 19.11.2015.
<https://explorable.com/validity-and-reliability>
- Speyer, R. F. 1994. Thermal Analysis of Materials. New York: Marcel Dekker Inc.
- Stora Enso lyhyesti. Viitattu 3.8.2014.
<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti>
- Stora Enso Veitsiluodon tehtaat 2015. Veitsiluodon esittely 2015. Viitattu 23.3.2015
<https://veitsiluotomill.weshare.storaenso.com/esittely/esittelykalvot/Sivut/default.aspx>
- Stora Enso, Energiaraportointi Veitsiluodon tehtaat 8.5.2015
[http://139.157.201.51/dna/DNAreport/\(S\(hhvfvb455oyfembm111vf1jz\)\)/Viewer.aspx?report=Metso/Paperi%20ja%20Sellu/Energia_p%c3%a4%c3%a4n%c3%a4ytt%c3%b6](http://139.157.201.51/dna/DNAreport/(S(hhvfvb455oyfembm111vf1jz))/Viewer.aspx?report=Metso/Paperi%20ja%20Sellu/Energia_p%c3%a4%c3%a4n%c3%a4ytt%c3%b6)
- Stora Enso Veitsiluodon tehtaan energiapäämää ja –tavoite. Viitattu 27.10.2015
<https://weshare.storaenso.com/sites/energiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/SitePages/Home.aspx>
- Suomalainen insinööriyöpalkinto 1981 - 2013. Tekniikan Akateemisten Liitto TEK ja Tekniska Föreningen i Finland TFIF. 2013. 12. painos. Viitattu 8.11.2015.
<https://www.tek.fi/cmris/browser?id=workspace%3A//SpacesStore/88f2b2da-3d2f-424d-bf55-6d9f35c58983%3B1.0&filename=cmisattachments/SITP2013web.pdf>
- Teollisuussektorin energiakatselmusten ohjeistus 2009. Viitattu 27.10.2015
http://motiva.fi/files/2728/Teollisuus_KATohjeet_ja_mallisisallysluettelot_2009.pdf
- Teoreettinen tutkimus. Jyväskylän Yliopisto. Viitattu 4.11.2014.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/teoreettinen-tutkimus>

- Thermal Energy, Encyclopedia Britannica. 2014. Viitattu 27.3.2015
<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/591388/thermal-energy>
- Tutkimuksen validiteetti. Virtuaali ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.11.2015
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0709019/1193463890749/1193464185783/1194413809750/1194415367669.html>
- Trochim W. 2006. Descriptive Statistics. Viitattu 25.11.2015
<http://www.socialresearchmethods.net/kb/statdesc.php>
- Uusitalo, H. 1999. Tiede, tutkimus ja tutkielma Johdatus tutkielman maailmaan. 6. painos. Juva: WSOY
- Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen 2014. Motiva Oy. Viitattu 10.11.2015.
http://www.motiva.fi/files/8808/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_-_ylijaamalampoenergia-analyysit.pdf
- Young & Freedman: University Physics with Modern Physics. 2004. 11. painos, s. 654. Pearson.

LIITTEET

- Liite 1. Hiomakivien lämmitys
- Liite 2. Lämmönvaihtimen vian etsintä
- Liite 3. MC-pumppu 501 säätöalueen muutos
- Liite 4. MC-pumppu 100 liikennevalot
- Liite 5. Sähkönkulutusjakeet Hiomo

Hiomon sähkönkulutusjakeet

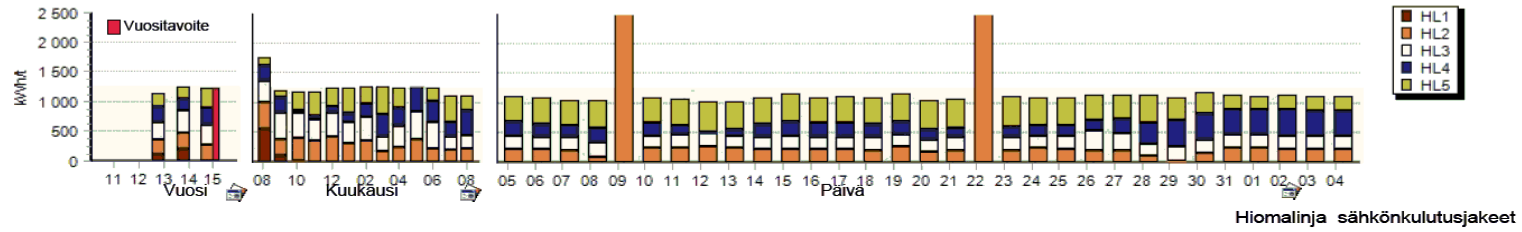


Sähkönkulutusjakeet / Hiomo

05.08.2015

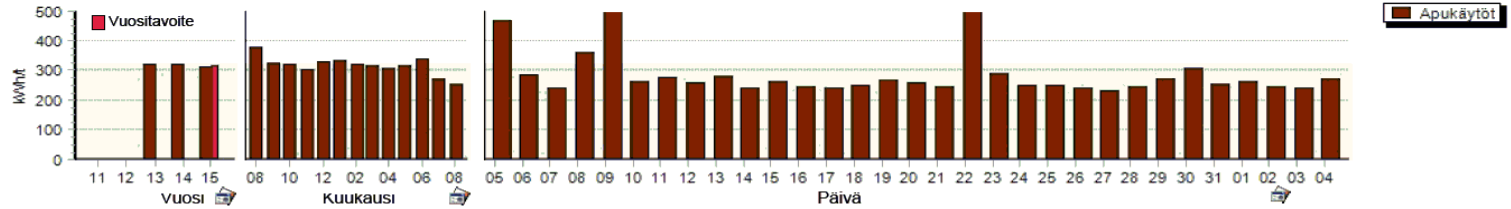


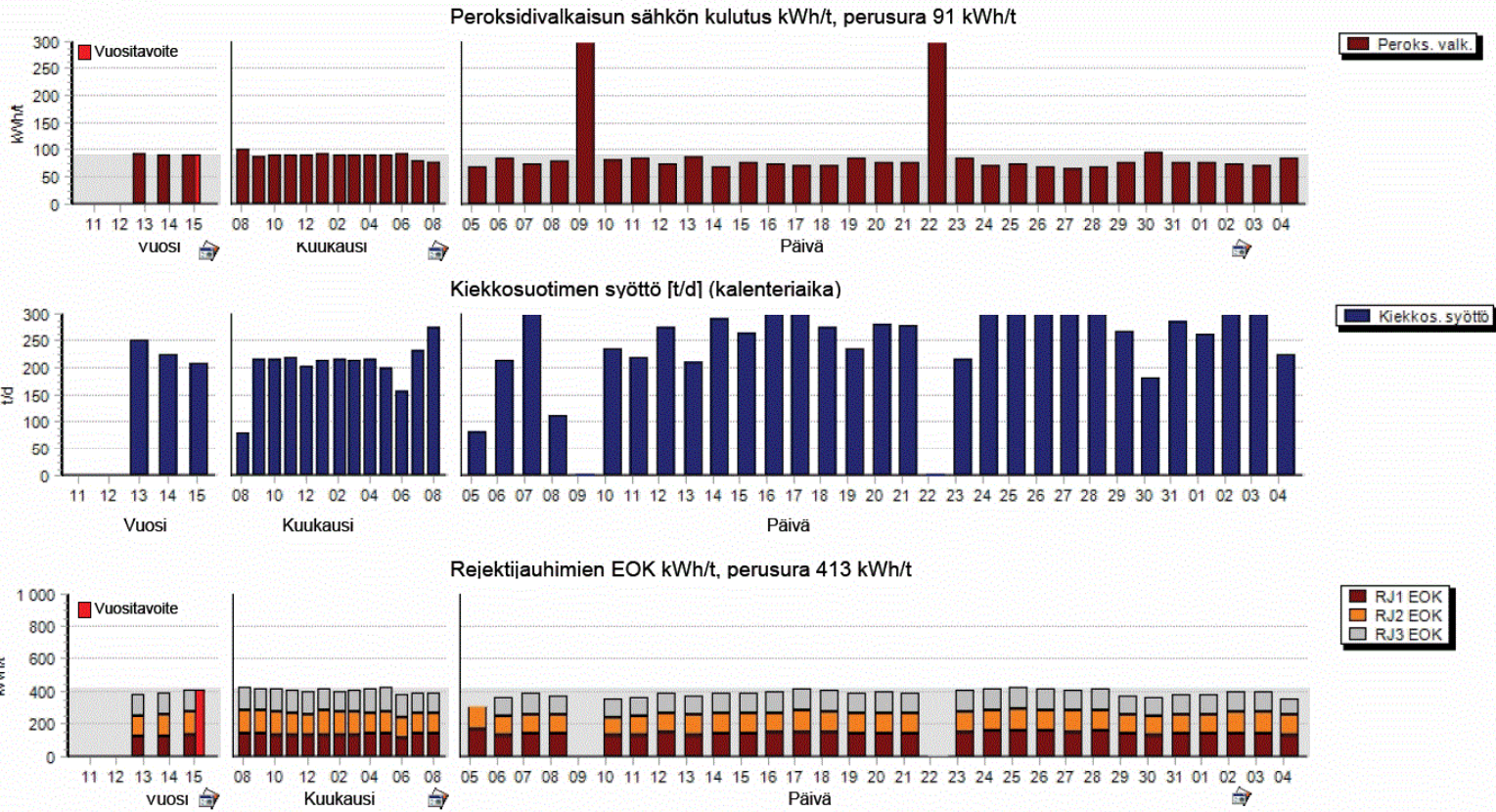
Hiomalinjat sähkön kulutus kWh/t, perusura 1230 kWh/t

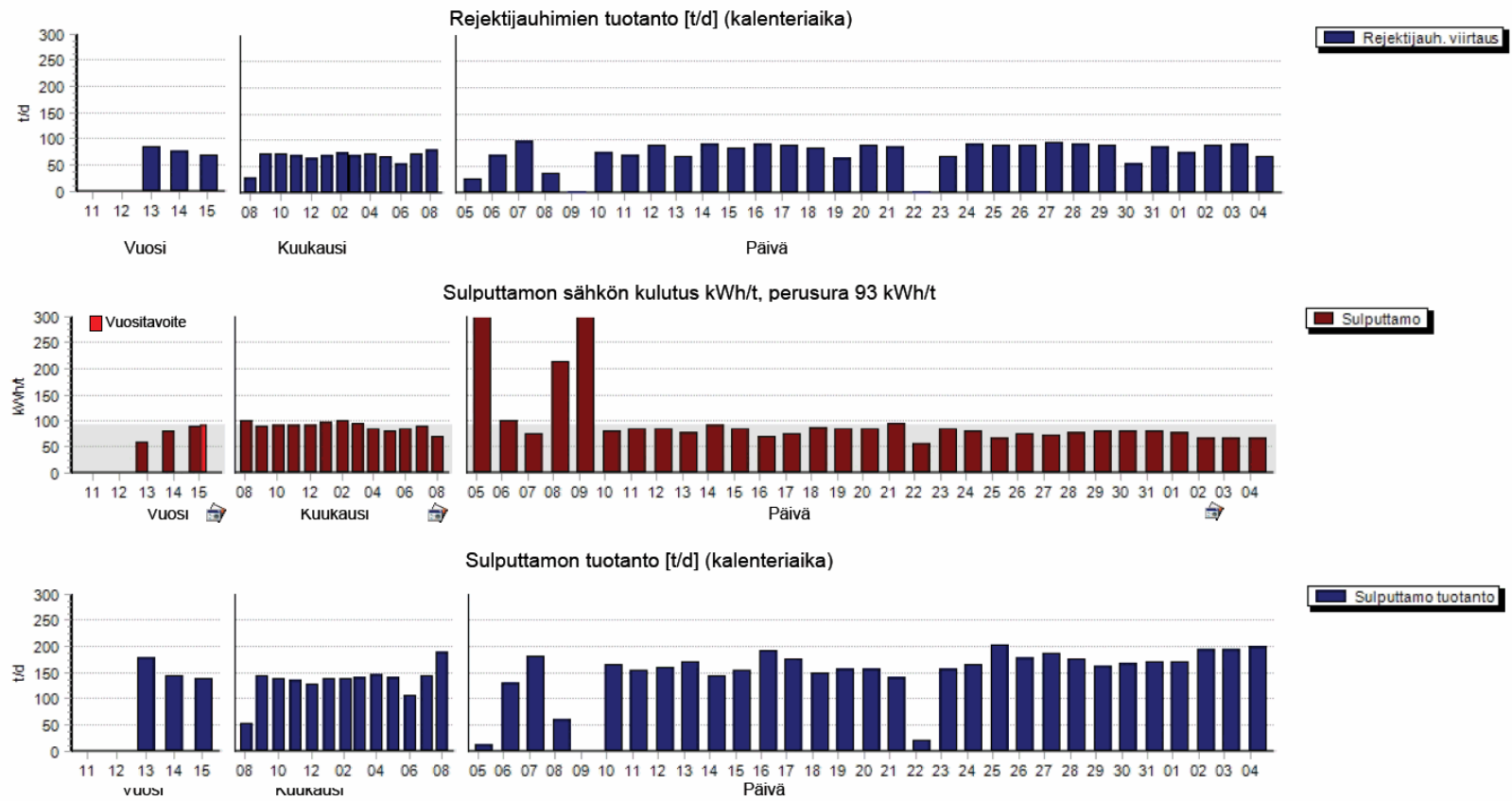


Hiomalinja sähkönkulutusjakeet

Hiomon apukäytöt sähkönkulutus kWh/t, perusura 320 kWh/t







Lämmönvaihtimen vian etsintä

OIRE	MAHDOLLINEN SYY	TOIMENPIDE
Riittämätön lämmön siirtyminen käynnistettäessä	1. ilmataskuja 2. liian vähän käyttönestettä	1. poista ilma 2. tarkista virtausnopeudet ja lämpötilat
Lämmön siirtymisen huonontuminen, johon liittyy lisääntyvä paineen putoaminen tai pienentynyt virtaus	Lämmönvaihtimen siirtopintojen likaantuminen	Puhdista. Varmista, että virtausnopeudet ovat oikeat
Lämmön siirtymisen huonontuminen, johon liittyy muuttumaton tai pienentynyt paineen putoaminen	Spiraalilämmönvaihtimen päätyjen ohitus, joka johtuu vioittuneesta tiivisteestä tai ylipaineesta	Vaihda kannen tiiviste. Varmista, että työpaine on oikea
Sisäinen vuoto	Lämmönsiirtopinnoissa reikiä syöpymisen, korroosion tai mekaanisen vaurion kautta.	Ota yhteyttä laitevalmistajaan.

MC PUMPPU 501 PYÖRIMISNOPEUDEN SÄÄTÖALUEEN MUUTOS

Hiomo
Sisäiseen käyttöön
16.8.2014

MC pumppu 501 pyörimisnopeuden säätöalueen muutos

MC pumppu 501:den pyörimisnopeuden asetus tulee peroksidivalkaisutorni 501:den tuotannosta siten, että tietty tuotanto vastaa tiettyä pyörimisnopeutta.

Tuotanto vaihtelee välillä 1,9 – 4,8 kg/s ja se vastaa pyörimisnopeutta 2300 – 2700 rpm.

Säätöaluetta muutettiin siten, että tuotanto 1,9 – 4,8 kg/s vastaa pyörimisnopeutta 2200 – 2600 rpm.

Muutoksella avulla pumpun pyörimisnopeus pieneni ja pumpun jälkeinen säätöventtiili avautui enemmän. Muutoksen avulla pienennettiin pumpun sähkön kulutusta n. 3kW:lla, mikä tarkoittaa yli 1000 € säästöä vuodessa.

Juha-Matti Ypyä
puh. 0400985691



storaenso

Kotipaikka:
Y-tunnus:

MC PUMPPU 100 LIIKENNEVALO

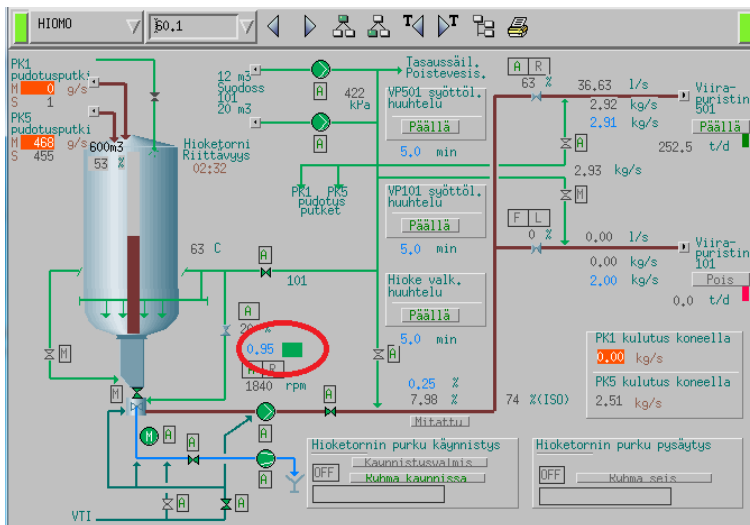
Hiomo

Sisäiseen käyttöön

16.8.2014

MC pumppu 100 liikennevalo

MC-pumppu 100:n (pos. 2027.730) viereen on laitettu liikennevalot ohjaamaan pumpun nopeusasettelua. (pos. 2028SIH-2081)



Vihreä valo ilmoittaa milloin pumpun nopeusasettelu on tuotannon mukaisella optimitasolla. Tuotanto määräytyy viirapuristinten 501 ja 101 yhteenlasketun syöttömäärän (l/s) mukaan. (pos. 2028FICQ-2300 + 2028FICQ-2100)

Valot toimivat alla olevan taulukon mukaan.

VP501+VP101 syöttömäärä (l/s)	MC-pumppu 100 nopeusasettelu
alle 35	0,950 tai pienempi
alle 45	pienempi kuin 1,000
yli 45	1,050 tai pienempi

MC pumpun nopeusasattelun pienentäminen vähentää pumpun sähkönkulutusta. Esimerkiksi nopeusasattelun muuttaminen 1,05:stä 0,95:een pienentää pumpun sähkönkulutusta n. 13 kW. Tämä voi tarkoittaa yli 5000 € säästöjä vuodessa.

Juha-Matti Ypyä
puh. 0400985691



storaenso

Kotipaikka:
Y-tunnus:

HIOMAKIVIEN LÄMMITYS

Hiomo

Sisäiseen käyttöön
16.8.2014

Hiomakivien lämmitys

Järjestelmään tulee hälytys, jos Hiokepumppu 501 (pos. 2027.806, VL-2073206) käynnistyy ja samanaikaisesti Kiven lämmitysventtiili 1 (pos. 2028TV-741.1) on auki.

Hälytyksen tarkoituksena on estää höyryventtiilin auki unohtuminen.

Juha-Matti Ypyä
puh. 0400985691



storaenso

Kotipaikka:
Y-tunnus: