

Henri Vaaherma

Lämpöpumppujen käytön seuranta ja optimointi biokaasulaitoksessa

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Henri Vaaherma	Insinööri AMK	Maaliskuu 2018
Opinnäytetyön nimi		47 sivua 15 liitesivua
Lämpöpumppujen käytön seuranta ja optimointi biokaasulaitoksessa		
Toimeksiantaja		
LABIO Oy		
Ohjaaja		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää LABIO Oy:n biokaasulaitoksen lämpöpumppujen toiminta ja optimoida niiden käyttöä. Laitoksen lämpöpumput siirtävät tuotetun lämmön veteen, joka on 55 °C tai 60 °C riippuen lämmityspiiristä. Lämpöä siirretään veden avulla lämmönkulutuskohteille. Lämpöpumppuja on 3 kappaletta ja niiden yhteenlaskettu teho on 2,25 MW.</p> <p>Lämpöpumppujen toiminnan seuraaminen aloitettiin tarkastelemalla lähtötilannetta. Lämpöpumpuille ei ollut valmista seurantajärjestelmää, joten se oli yksi työn päätavoitteista. Seurantajärjestelmään tuli toimeksiantajan valitsema tietoja ja mittauksia kuten lämpöpumppujen lämpöteho ja lämpökerroin, COP.</p> <p>Seurantajärjestelmän suunnitelman luominen osoittautui haastavaksi, sillä valittujen tietojen tuominen suoraan valvomo-ohjelmistosta ei ollut mahdollista. Lämpöpumppujen- ja lämmönkulutuskohteiden mittauksia ei ollut suunniteltu energiamäärien seuraamiseen vaan laitoksen päivittäisen toiminnan tarkkailuun. Tämän takia työssä jouduttiin tekemään useita oletuksia seurannan, mittausten ja laskennan pohjalta. Seurantajärjestelmästä luotiin loppujen lopuksi suunnitelma, jonka työntilaaaja voi halutessaan toteuttaa.</p> <p>Optimoinnin lähtökohtana oli selvittää lämpöpumppujen kulutus eri vuodenaikoina. Vuodenaikojen vaikutus lämmönkulutuskohteisiin oli merkittävä, mikä pystyttiin toteamaan laskennalla. Laskennan pohjalta todettiin, että kaikkien lämmönkulutuskohteiden tarvitsema lämpöteho pystyttäisiin tuottamaan yhdellä lämpöpumpulla kesäaikaan.</p> <p>Työssä saatiin toteutettua toimeksiantajan asettamat tavoitteet. Seurantajärjestelmän hyödyt tulevat esiin siinä vaiheessa, kun se tuodaan käyttöön. Seurantajärjestelmän avulla voidaan todentaa tuottaako optimointi-idea taloudellista säästöä sähkönkulutuksen pienentymisellä, jos ajetaan vain yhtä lämpöpumppua.</p>		
Asiasanat		
biokaasulaitos, lämpöpumppu, seurantajärjestelmä, optimointi		

Author (authors)	Degree	Time
Henri Vaaherma	Bachelor of Engineering	March 2018
Thesis Title		47 pages
Monitoring system and optimization of the use of heat pumps in biogas plant		15 pages of appendices
Commissioned by		
LABIO Oy		
Supervisor		
Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The objective of the thesis was to study the function of the heat pumps of the biogas plant and to optimize their use. The heat pumps of the biogas plant transfer the produced heat to the water which is 55 °C or 60 °C, depending on the heating circuit. The heat is moved through water to the heat consumers. There are 3 pieces of heat pumps and their full capacity is 2.25 MW.</p>		
<p>Monitoring of the function of heat pumps was begun by examining the initial situation. There was no monitoring system for the heat pumps, so one of the main objectives was to create such a system. The commissioner had chosen the data and measurements of monitoring system such as heat power of heat pumps and thermal coefficient, COP.</p>		
<p>The creation of the monitoring system proved to be to challenge because the retrieval of necessary information directly from the control room software was not possible. The monitoring and measuring of heat consumption had not been designed for the monitoring the amounts of energy but for the monitoring of the daily operation of the plant. Therefore, several assumptions had to be made based on follow-up, measuring and calculation. The study produced plan for the monitoring system, which the commissioner can carry out.</p>		
<p>The starting point for the optimization was to examine the consumption of heat pumps during different seasons. The effect of the seasons on the heat consumption was significant which was visible in a calculation. Based on this calculation, it was concluded that it would be possible to produce the heat power needed by all the heat consumers in summer time with one heat pump.</p>		
<p>The objectives appointed by the commissioner were fulfilled. The advantages of the monitoring system will appear at the implementation. The monitoring system can verify that the optimization idea will produce financial saving when only one heat pump is running, and the consumption of electrical energy should decrease.</p>		
Keywords		
biogas plant, heat pump, monitoring system, optimization		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LABIO OY	6
2.1	Biokaasulaitos.....	7
2.2	Kompostointilaitos.....	8
2.3	Gasumin jalostuslaitos.....	8
3	LÄMPÖPUMPUT.....	9
3.1	Scancool.....	10
3.2	Trane	12
4	SEURANTAJÄRJESTELMÄ	15
4.1	Lähtötilanne	15
4.2	Lämmitysverkot ja lämmityskohteet	17
4.2.1	Scancool-lämmitysverkosto.....	17
4.2.2	Trane-lämmitysverkosto	18
4.3	Laskentamenetelmät	19
4.3.1	Vesi-vesilämmönvaihdin	20
4.3.2	Vesi-ilmalämmönvaihdin	21
4.3.3	Lämpökerroin, COP	22
4.4	Tapauskohtaiset tarkennukset.....	23
4.4.1	Prosessitilojen lattialämmitys	24
4.4.2	Sosiaali- ja prosessitilojen lämmitys.....	25
4.4.3	Tunneleiden tuloilman esilämmitys	26
4.5	Seurantajärjestelmän suunnitelma.....	31
5	OPTIMOINTI	34
5.1	Optimoinnin kohde.....	34
5.2	Scancool-lämpöpumpun lämpöteho eri vuodenaikoina	36
5.3	Trane-lämpöpumppujen lämpöteho eri vuodenaikoina	39
5.3.1	Trane-lämpöpumppujen lämpöteho kesällä	40

5.3.2	Trane-lämpöpumppujen lämpöteho talvella	40
5.4	Optimoinnin tulokset	41
6	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	45

LIITTEET

- Liite 1. Prosessitilojen lattialämmityksen lämpötilat
- Liite 2. Prosessitilojen lattialämmityksen lämpöteholaskenta
- Liite 3. Tunneleiden lämmönvaihtimien virtausnopeuksien mittaukset
- Liite 4. Hygienisoinnin poistoilmakanavan virtausnopeuden mittaukset
- Liite 5. CSV-toimintaohje
- Liite 6. Reaktoreiden seinien johtumishäviön laskenta
- Liite 7. Syötteen lämmittämisen laskenta
- Liite 8. Trane-lämpöpumppujen lämpöteho (kesä)
- Liite 9. Prosessitilojen lattialämmitys lämpöteho (talvi)
- Liite 10. Trane-lämpöpumppujen lämpöteho (talvi)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella LABIO Oy:n biokaasulaitoksen lämpöpumppujen toimintaa, luoda lämpöpumpuille seurantajärjestelmän suunnitelma sekä lopuksi optimoida lämpöpumppujen toimintaa. Optimoinnin perusteena on suunnitteluvaiheessa arvioitu liian suuri lämmöntarve biokaasulaitoksen reaktoreihin sekä käytössä olevan puutteellisen seurantatavan kehittäminen.

Lämpöpumppujen tuottaman lämpimän veden suurimmat kulutuskohteet ovat biokaasulaitoksen reaktorit, kompostointilaitoksen tunneleiden tuloilman esilämmitys sekä prosessi- ja sosiaalitilojen lämmitys.

Työssä tuodaan esille lämpöpumppujen- ja laitoksen toimintaan liittyvää keskeistä teoriaa, jonka pohjalta luodaan seurantajärjestelmän suunnitelma. Seurantajärjestelmän suunnitelma räätälöidään toimeksiantajan käyttöön, jonka he voivat halutessaan toteuttaa. Seurantajärjestelmän avulla on tarkoitus tehostaa lämpöpumppujen toimintaa ja saamaan esimerkiksi taloudellista säästöä sähkönkulutuksen pienentymisellä.

Lämpöpumput on mitoitettu suunnitteluvaiheessa ja niiden toimintaa ei ole valvottu erityisen tarkasti. Seurantajärjestelmässä ei perehdytä lämpöpumppujen sisäisten komponenttien eli kompressorin, lauhduttimen, höyrystimen eikä paisuntaventtiilin toimintaan, vaan toiminnan tehostamiseen pyritään valvomohjelmistosta saatavilla olevien tietojen avulla.

2 LABIO OY

LABIO Oy on vuonna 2003 perustettu kunnallinen yritys, jonka liiketoiminta perustuu kompostointi- ja kaasutusprosessiin. LABIO Oy tarjoaa käsittelypalveluita bio- ja yhdyskuntajätteille. Jätteistä tuotetaan biokaasua Suomen suurimmassa biokaasun tuotanto- ja jalostuslaitoksessa yhdessä Gasumin kanssa. Laitoksen kokonaiskäsittelykapasiteetti on 80 000 tonnia vuodessa, mistä hyödynnetään yhdistetyssä kaasutus- ja kompostointiprosessissa 98 %. (LABIO Oy s.a.)

2.1 Biokaasulaitos

Orgaaniset jätteet mädätetään biokaasulaitoksen reaktoreissa, jolloin mesofiilissä anaerobisessaprosessissa syntyy biokaasua. Syntynyt biokaasu puhdistetaan Gasumin jalostuslaitoksessa vähintään 95 % metaaniksi, jolloin se vastaa ominaisuuksiltaan maakaasua. Vuodessa biokaasua syntyy 50 GWh, mikä vastaa 4 000 henkilöauton vuosittaista polttoainekulutusta. (LABIO Oy s.a.)



Kuva 1. LABIO Oy:n laitoskombinaation toiminta (LABIO Oy s.a.)

Biokaasun tuotantoprosessiin tarvitaan lisälämpöä, jotta biojätteen orgaaninen aines hajoaa. Biokaasulaitosta lämmitetään osin kompostointilaitoksen hukkalämmöllä, mutta suurimmaksi osin lämpöpumpuilla. Reaktorit suunniteltiin aluksi toimimaan termofiilisen prosessin lämpötiloissa, kuten kuvasta 1 ilmenee, mutta käyttöönottovaiheessa todettiin mesofiilinen prosessi riittäväksi (Puranen 2017).

Termofiilisen- ja mesofiilisen prosessin erona on käytetyt lämpötilat. Termofiilissä prosessissa reaktoreiden lämpötila on 50–67 °C ja mesofiilissä prosessissa 20–45 °C. Lämpötila on suoraan verrannollinen mädättäjäbakteerien

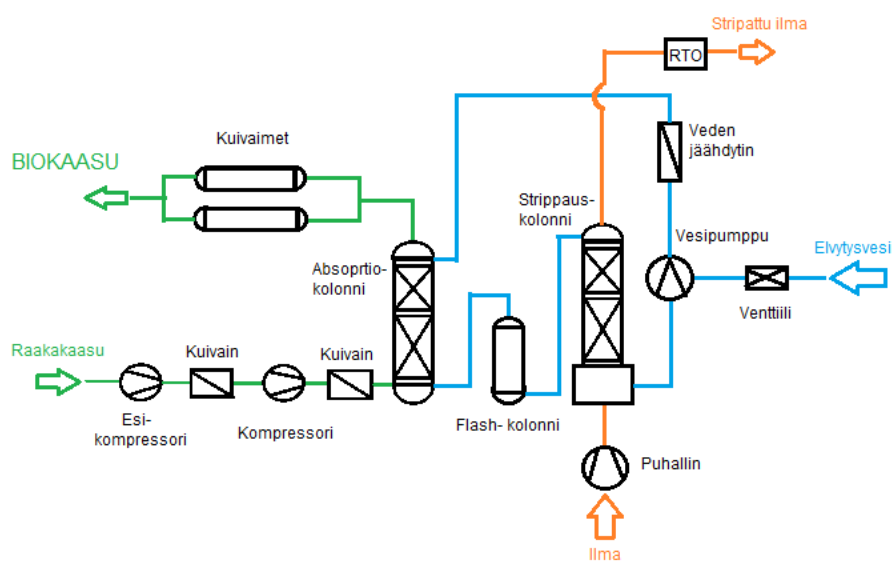
nopeuteen. Suuremmissa lämpötilassa mädättäjäbakteerit hajottavat orgaanisen aineksen nopeammin kuin matalammassa lämpötilassa. (Enerferm 2018.)

2.2 Kompostointilaitos

Laitokselle saapuneista biojätteistä ja puhdistamolietteistä osa ajetaan esikäsitteilyn kautta biokaasulaitoksen reaktoreihin ja osa saapuneesta materiaalista menee suoraan kompostointilaitokseen. Kompostointilaitos käsittelee biojätteet, puhdistamolietteet ja biokaasulaitokselta palaavan mädätteen. Edellä mainitut jakeet kompostoidaan ja lopputuotteena syntyy kompostia, joka soveltuu viljanviljelyyn tai mullan raaka-aineeksi. (LABIO Oy s.a.)

2.3 Gasumin jalostuslaitos

Biokaasulaitoksen reaktoreissa tuotettu raakakaasu johdetaan maanalaisia putkilinjoja pitkin kaasupallolle, joka on raakakaasun väliaikainen varasto. Kaasupallolta raakakaasu ohjataan takaisin maan alle, josta se etenee Gasumin jalostuslaitokselle. Jalostuslaitoksella raakakaasu puhdistetaan biokaasuksi. Jalostuslaitoksen toiminta perustuu vesipesuprosessiin, jossa kaasusta puhdistetaan hiilidioksidi, rikkivety ja muita epäpuhtauksia.



Kuva 2. Vesipesuprosessi

Kuvassa 2 on esitelty vesipesuprosessi pääpiirteittäin. Vihreillä viivoilla on kuvattu kaasun virtaus, sinisillä viivoilla veden virtaus ja oransseilla viivoilla ilman virtaus. Jalostuslaitokselle tuleva raakakaasu, joka on noin 55–65 % metaania, kuivataan ja puristetaan noin 5,5 baarin paineeseen. Puristettu kaasu johdetaan absorptiokolonniin. Absorptiokolonni on pystysuuntainen torni, jossa kaksi fluidia virtaavat vastakkaisiin suuntiin. Tässä tapauksessa fluidit ovat raakakaasu ja vesi. Raakakaasu virtaa alhaalta ylöspäin ja pesuvesi virtaa ylhäältä alaspäin. Pesuvesi absorboi raakakaasusta hiilidioksidia ja rikkivetyä. Puhdistettu biokaasu poistuu kolonnin huipusta. (Lonka 2017.) Hiilidioksidin poistaminen on tärkeää, sillä se nostaa kaasun energiasisältöä (Kilpeläinen s.a., 14). Tämän jälkeen biokaasu, eli noin 97 % metaani, kuivataan ja kuivattu kaasu johdetaan syöttökompessoreiden kautta kaasuverkkoon, jonka paine on noin 40 baaria (Lonka 2017).

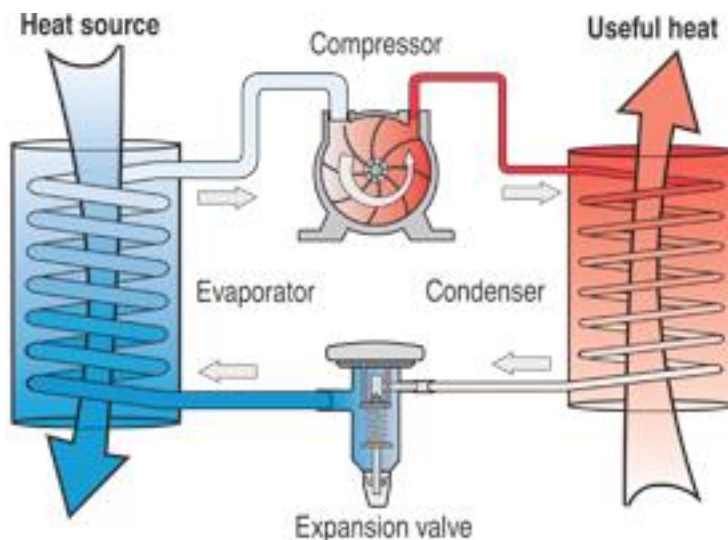
Raakakaasun puhdistamiseen käytetty pesuvesi hyödynnetään jalostuslaitoksessa uudestaan. Absorptiokolonnin jälkeen pesuvesi johdetaan flash-kolonniin, jossa metaania vapautuu vielä pesuvedestä. Vapautunut kaasu palautetaan kompressorien kautta pesuprosessin alkuun, jotta puhdistuksen hyötysuhde on korkeampi. Flash-kolonnin jälkeen pesuvesi johdetaan strippaus-kolonniin, jossa tapahtuu veden regenerointi. Regeneroinnilla tarkoitetaan veden puhdistamista alkuperäiseen tilaan eli tässä tapauksessa hiilidioksidin ja rikkivedyn poistamista strippauksella. Strippauksessa edellä mainitut komponentit poistetaan vedestä ilman avulla. (Lonka 2017.)

3 LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumppuja on useita erilaisia, kuten esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu ja maalämpöpumppu. Lämpöpumppujen toimintaperiaate on samanlainen lämpöpumpun tyypistä riippumatta. Toiminta perustuu lämmön keräämiseen ja sen siirtämiseen eteenpäin. Lämpöpumppuja voidaan myös käyttää tilojen viilentämiseen. (Motiva 2017.)

Lämpöpumppu on kokonaisuus, joka koostuu neljästä eri komponentista. Komponentteja ovat kaksi lämmönvaihdinta eli höyrystin ja lauhdutin, paisuntaventtiili sekä kompressor (kuva 3). Näitä kaikkia yhdistää suljettu putkisto, jossa kiertää kylmäaine.

Lämpöenergiaa kerätään ilmasta, maaperästä tai vedestä, josta ne siirretään höyrystimen (evaporator) avulla lämpöpumpun kylmäaineeseen. Kerätty lämpöenergia saa putkistossa virtaavan nestemäisen kylmäaineen muuttamaan olomuotoaan nestemäisestä höyryksi. Höyrystynyt kylmäaine ohjataan kompressorin (compressor) läpi, jossa höyrystyneen kylmäaineen lämpötila ja paine nousevat. Kompressorilta kylmäainehöyry johdetaan lauhduttimelle (condenser). Lauhduttimessa kuuma kylmäainehöyry lauhtuu takaisin nesteeksi lämmön luovuttamisen seurauksena. Tämä nestemäinen kylmäaine vietään paisuntaventtiiliin, jossa kylmäaineen paine ja lämpötila putoavat. Seuraavaksi nestemäinen kylmäaine ohjataan höyrystimelle ja kierto alkaa alusta. (Motiva 2017.)



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Saimaa Gardens Services s.a.)

Lämpöpumpujen toimintaa määrittävä termi on lämpökerroin (COP). Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa verrattuna sen kuluttamaan sähköenergiaan. Jos lämpöpumppu tuottaa lämpöä 4,5 kWh ja sen tarvitsema sähköenergia on 1 kWh, niin lämpökertoimeksi muodostuu 4,5. Paras lämpökerroin ja kannattavuus saadaan, kun lämpötilaero lämmönkeruun ja -luovutuksen välillä on mahdollisimman pieni. (Motiva 2017.) Silloin kompressorin tekemä työ on pienimmillään eli sähköenergiaa kuluu vähemmän suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan.

3.1 Scancool

Laitoksessa on käytössä Oilon ChillHeat P -sarjan teollisuuslämpöpumppu. P-sarjan lämpöpumput on suunniteltu toimimaan korkealla hyötysuhteella myös

alhaisella osateholla. Kaikissa P-sarjan malleissa on mäntäkompressorit, jotka ovat kustannustehokkaita kompressoreita. (Oilon Oy s.a.) Laitoksessa olevan lämpöpumpun malli on P 380, jossa mäntäkompressoreita on 5 kappaletta ja sen käyttämä kylmäaine on R134a (Scancool 2014, 33). Laitoksella lämpöpumpusta käytetään nimitystä Scancool (kuva 4). Lämpöpumppu on taajuusmuuttajalla ohjattu 60 Hz ja sen tuottama lämpöteho on 750 kW (Puranen 2017).

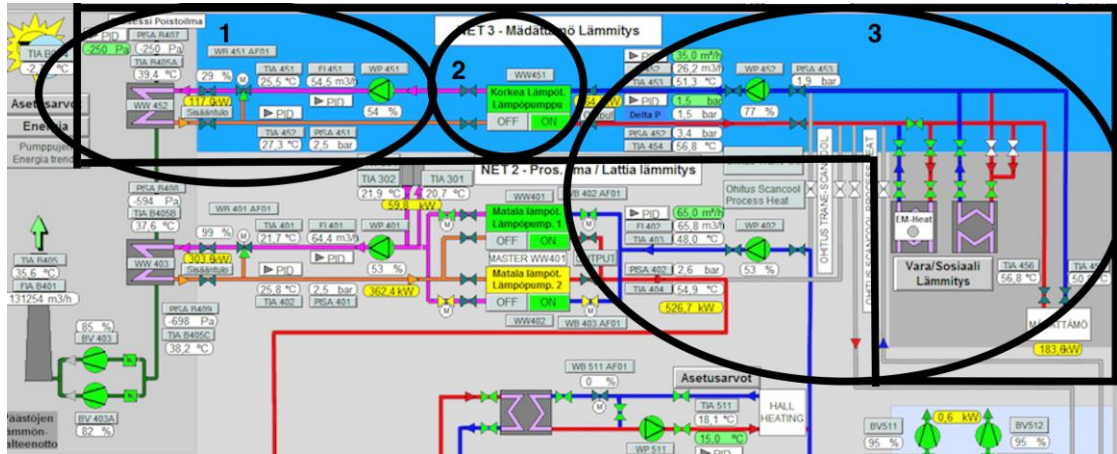


Kuva 4. Scancool-lämpöpumppu

Scancool käyttää hyödykseen laitoksessa tuotettua hukkalämpöä. Hukkalämpö on yleensä 25–40 °C, joten sen sisältämän lämpöenergian hyödyntäminen muihin käyttökohteisiin olisi haasteellista. (Puranen 2017.) Hukkalämpö otetaan talteen poistoilmakanavassa sijaitsevan lämmönvaihtimen avulla. Lämmönvaihdin lämmittää lämpöpumpun keruupiirissä olevaa vettä. Keruupiirin vesi virtaa lämpöpumpun höyrystimelle, jossa se luovuttaa lämpöenergian kylmäainepiirille.

Kun höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorilla korkeampaan lämpötilaan ja paineeseen, niin kylmäaine etenee lämpöpumpun sisäisessä kierrossa lauhduttimeen. Lauhtuessaan kylmäaine luovuttaa lämpöenergiansa lämmi-

tyspiirin veteen. Lämmityspiirissä virtaavan veden suurimmat käyttökohteet ovat biokaasulaitoksen reaktoreiden-, sosiaali- ja prosessitilojen lämmitys. Scancool-lämpöpumpulla lämmitetään myös biokaasulaitoksen hallitilaa, valvomoa ja generaattorihuonetta. Niitä ei kuitenkaan huomioida laskuissa vaan ne sisällytetään biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmitykseen.



Kuva 5. Prosessikuva Scancool-lämmitysverkostosta (WinCC 2017)

Kuvassa 5 on rajattu mustalla Scancoolin lämmitysverkosto. Numerolla 1 on merkitty keruupiiriin lämmönvaihdin ja putkisto. Numero 2 on Scancool-lämpöpumppu ja numerolla 3 kuvataan lämpöpumpulta lähtevää lämmityspiiriä, jonka putkisto jatkuu biokaasulaitoksen reaktoreihin.

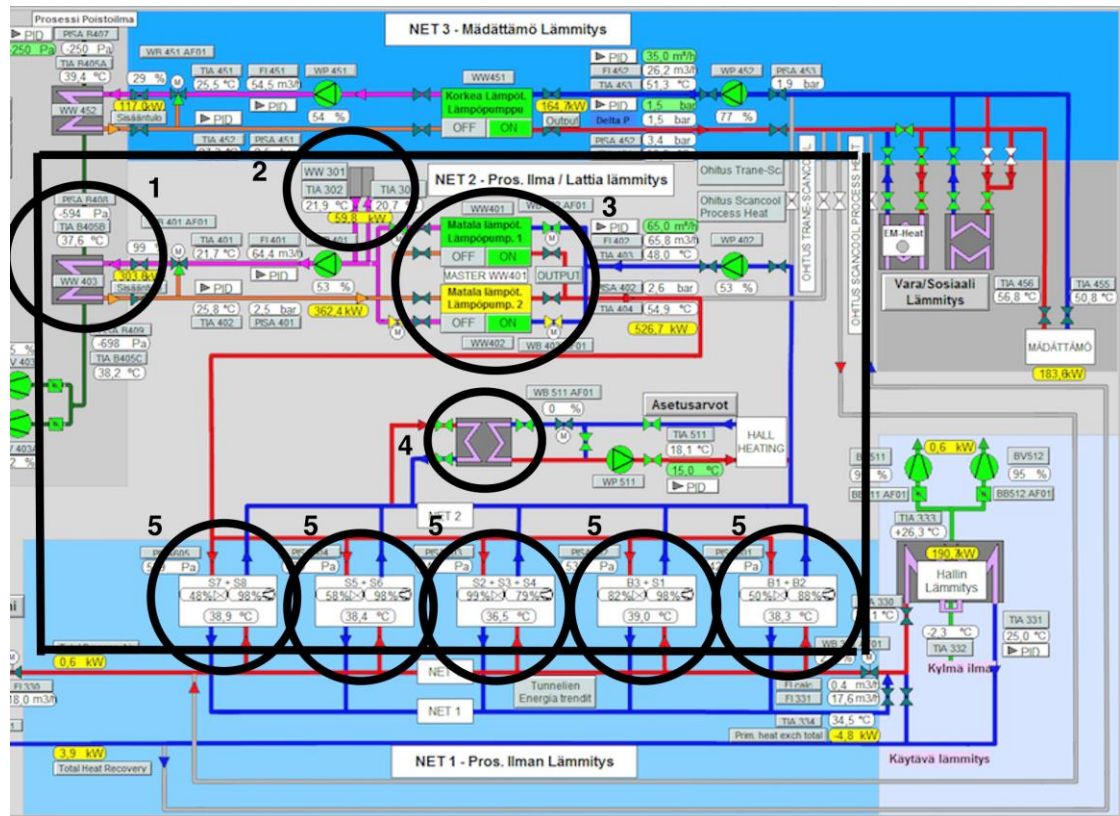
3.2 Trane

Laitoksessa on käytössä myös kaksi Tranen RTWD -yksikköä, jotka ovat ruuvityyppisiä pyöriväliikkeisiä vesijäähdytteisiä nestejäähdytynyksikköjä. Molemmilla yksiköissä on kaksi erillistä jäähdytyspiiriä ja yksi kompressoripiiriä kohden. (Trane 2014, 7.) Trane-lämpöpumppujen lämpöenergian käyttökohteet ovat prosessitilojen lattialämmitys sekä laitoksen kompostointipuolen tunnelien tuloilman esilämmitys. Yhden yksikön tuottama lämpöteho on 750 kW ja yhteisteho on 1,5 MW (Puranen 2017).

Molemmat Trane-lämpöpumput ovat asennettu samaan lämmityspiiriin. Ne toimivat rinnakkain, ja tarvittaessa samanaikaisesti. Lämpöpumput ottavat höyrystimen keruupiiriin lämpöenergian samalla tavalla kuin Scancool-lämpöpumppu eli keruupiiriin lämpöenergia saadaan poistoilmakanavasta lämmönvaihtimen avulla. Lisäksi pieni osa keruupiiriin lämmöstä saadaan pro-

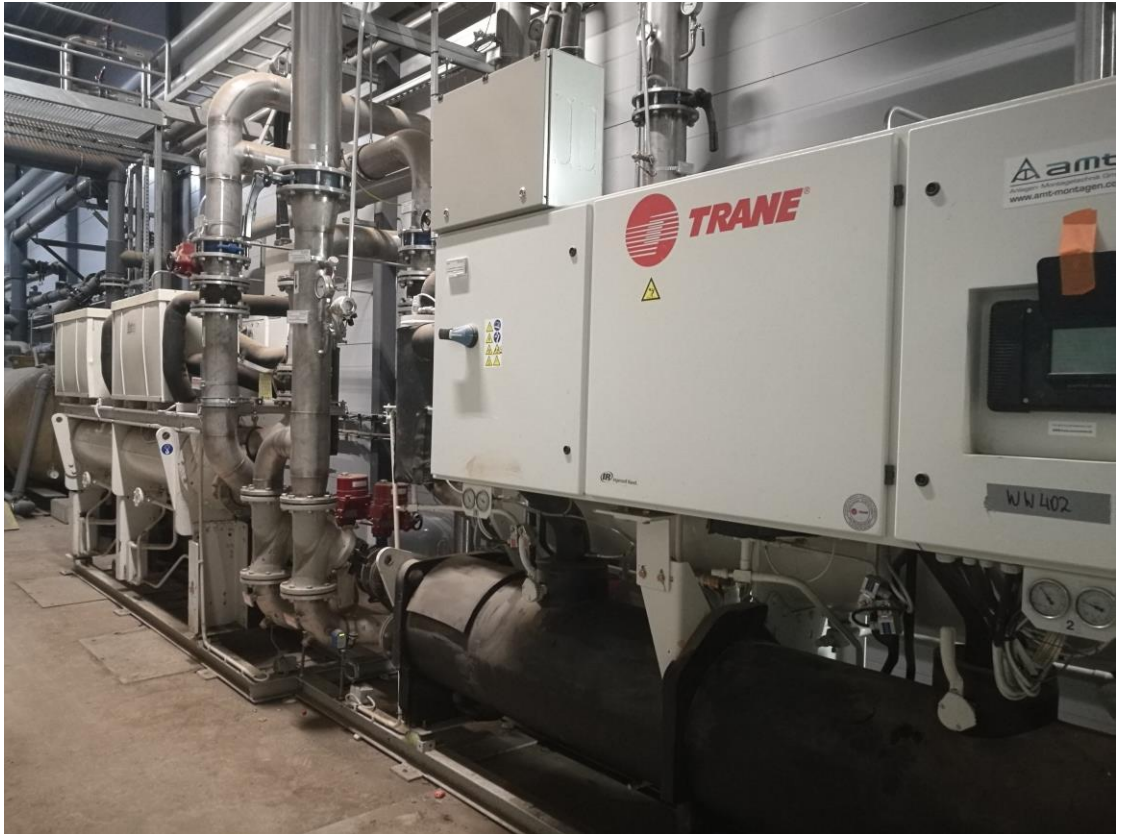
sessivesitankin lämmönvaihtimen avulla. Tankin veden lämpötila on yleensä noin 30–40 °C (Puranen 2017).

Kuvassa 6 mustalla viivalla on rajattu Trane-lämpöpumppujen lämmitysverkosto. Lämpöpumppujen keruupiirin veden lämpöenergia otetaan kuvan pisteissä 1 ja 2 olevien lämmönvaihtimien avulla. Pisteessä 1 on poistoilmakanavan lämmönvaihdin ja pisteessä 2 on prosessivesitankin lämmönvaihdin. Numerolla 3 on merkitty lämpöpumput, jotka ovat rinnakkain ja toimivat pääosin Slave/Master-ohjauksella eli toinen on käytössä ja toinen on varalla. Lämpöenergian käyttökohteet on kuvassa merkitty numeroilla 4 ja 5. Pisteessä 4 on prosessitilojen lattialämmitys ja pisteissä 5 ovat tunnelien tuloilman esilämmitykset.



Kuva 6. Prosessikuva Trane-lämmitysverkosta (WinCC 2017)

Laitoksessa olevien Trane-lämpöpumppujen ja Scancool-lämpöpumpun toiminta eroaa toisistaan suurimmalta osin jäähdytyksen osalta. Scancoolin kompressorien jäähdytys on ulkoinen eli se toimii ulkoisten puhaltimien avulla, mutta Trane-lämpöpumpuissa on sisäinen jäähdytys. Traneissa kiertävällä kylmäaineella jäähdytetään myös kompressoreita (Trane 2014, 57).



Kuva 7. Trane-lämpöpumput

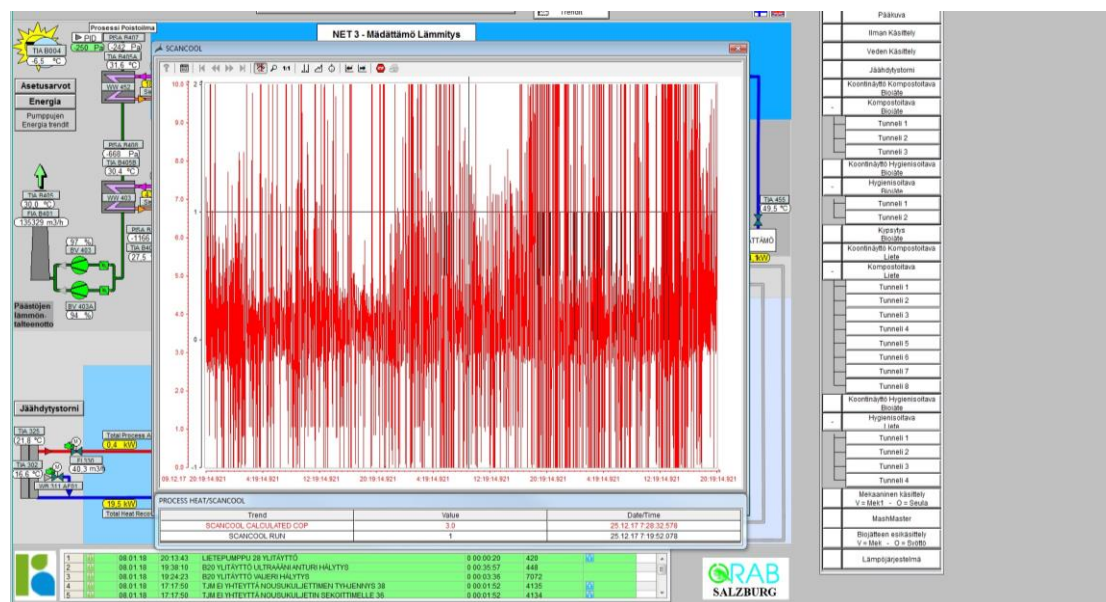
Tranen (kuva 7) jäähdytystoiminto pyörii normaalin lämmöntuotannon ympärillä. Lämpöpumpun kylmäaine ottaa keruupiiristä lämpöenergiaa ja kylmäaine höyrystyy kylläiseksi höyryksi. Kylläinen höyry ohjataan kompressorin kammioon, jota ennen se virtaa moottorin läpi viilentäen sitä. Kompressorissa kylmäaineeseen sekaan ruiskutetaan öljyä, joka samalla voitelee rullalaakereita ja tiivistää kompressorin roottorien väliset raot. Tämän jälkeen kylmäaineesta erotetaan öljynerottimen avulla öljy ja puhdistettu kylmäaine höyry siirtyy lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäainehöyry menettää lämpöenergiaa ja lauhduttuu höyrystä nestemäiseksi. Lauhduttimen pohjalta nestemäinen kylmäaine menee sisäänrakennettuun alijäähdyttimeen, jossa sitä jäähdytetään edelleen. Alijäähdyttimen jälkeen on elektroninen paisuntaventtiili, jossa nestemäisen kylmäaineen lämpötila ja paine laskevat. Paineen aleneminen aiheuttaa sen, että osa nestemäisestä kylmäaineesta höyrystyy. Ennen kuin paisuntaprosessissa syntynyt nestemäinen kylmäaine ohjataan höyrystimelle, niin seassa oleva höyrystynyt kylmäaine ohjataan putkilinjaa pitkin suoraan kompressorille. Tämä höyrystynyt kylmäaine viilentää myös kompressorin moottoria. (Trane, 57–58.)

4 SEURANTAJÄRJESTELMÄ

Seurantajärjestelmän tarkoituksena on helpottaa käytössä olevien laitteiden seuranta ja parantaa niiden toimintaa. Esimerkkinä voidaan pitää auton keskikulutusmittausta. Keskikulutus ilmaisee kuinka paljon polttoainetta auto on käyttänyt tiettyyn kilometrimäärään eli kuinka taloudellisesti autolla on ajettu. Sama periaate toimii myös lämpöpumpuilla. Seurantajärjestelmällä voidaan seurata esimerkiksi kuinka paljon sähköä on käytetty tietyn lämpömäärän tuottamiseksi tai kuinka ulkolämpötila vaikuttaa lämpöenergian- ja sähkönkulutukseen.

4.1 Lähtötilanne

Laitoksessa on käytössä Siemens SIMATIC WinCC valvomo-ohjelmisto. Valvomo-ohjelmisto mahdollistaa laitoksen reaaliaikaisen seuraamisen useilta eri prosessinäytöiltä. Työn toteuttamisen aikana sovittiin, että seurantajärjestelmä luodaan valvomo-ohjelmiston keräämien tietojen avulla. Ohjelmistoon on luotu laitteiden toiminnan seuraamista helpottavia mittauksia. Mittaukset toimivat edukseen, jos seuraa yksittäisen laitteen toimintaa reaaliajassa. Jos haluaa saada pidemmältä aikaväliltä tietoa ja verrata sitä johonkin toiseen mittaukseen, niin tietojen saaminen ja yhdistäminen on haasteellista. Tieto luetaan näytölle aukeavasta trendi-ikkunasta. Trendi-ikkuna on välilehti, jonka saa laite- tai mittauskohtaisesti auki. Siihen on kerätty laitteesta tietoja tietyltä aikaväliltä ja näistä on muodostettu kuvaaja.

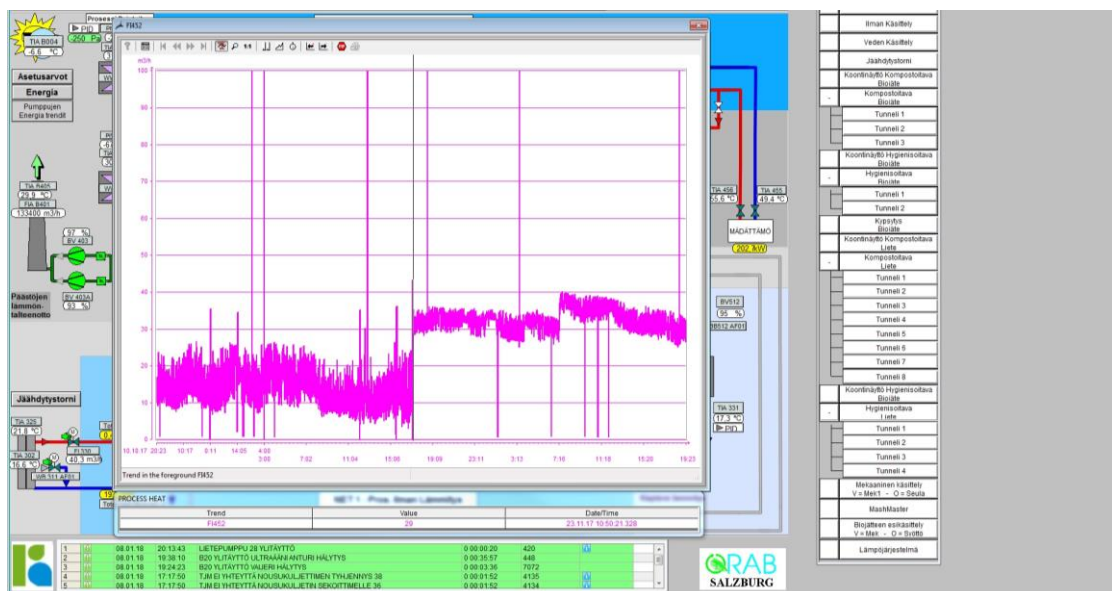


Kuva 8. Scancool-lämpöpumpun trendi-ikkuna COP-arvosta (WinCC 2017)

Trendikuvaajat voivat olla epäselviä. Jos trendikuvaaja on epäselvä, niin siitä luettava tieto on hyödytöntä. Kuvasta 8 voidaan lukea Scancool-lämpöpumpun lämpökertoimen muuttumista. Lämpökertoimelle saadaan arvoksi 0–10. Lämpökertoimen suuri vaihtelu saa kuvaajan näyttämään epäluotettavalta ja epäilemään lämpökertoimen paikkansapitävyyttä.

Trendikuvaajasta havainnoidaan muutoksia visuaalisesti kulmakertoimien tai raja-arvojen vaihtelun välillä. Trendikuvaajat sopivat hyvin ongelmatilanteiden selvittämiseen. Kuitenkin pidempiaikaiseen seurantaan seurantajärjestelmä on parempi vaihtoehto. Seurantajärjestelmän kirjaamien lukujen avulla pystytään vertailemaan ja tarkkailemaan muutokseen johtaneita syitä.

Esimerkiksi työn aikana huomattiin, että biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmitysteho on heikentynyt, vaikka ulkolämpötila on pysynyt samana. Syy löytyi biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmityspiirin veden virtauksen heikkenemisestä ja virtauksen normaalia suuremmasta vaihtelusta. Lämmityspiiriä ohjataan paine-erosäädöllä ja paine-eron arvo on asetettu niin, että virtauksen pitäisi olla aina noin 35 m³/h. Kuvasta 9 nähdään, että virtauksen vaihteluväli on ollut noin 5–25 m³/h ennen kuin vika korjattiin kuvaajan puolella välissä.



Kuva 9. Scancool-lämmityspiirin virtaus (WinCC 2017)

Virtauksen heikkenemiselle löytyi syy biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmityspiirin ohituslinjan paineventtiilistä. Ohituslinjan paineventtiin on tarkoitus aueta, kun suurin osa reaktoreiden lämmityslinjoista on kiinni eli reaktorit ovat

saavuttaneet tavoitelämpötilan. Paineventtiilillä tasataan lämmityksen paluuvirtaus riippumatta siitä kuinka monen reaktorin lämmityslinja on kiinni. Kun paineventtiili aukeaa, vesi virtaa suoraan lämmityspiirin paluulinjaan. Paineventtiili oli kuitenkin säädetty liian suuren paineen mukaan. Kun suurin osa lämmityslinjoista oli kiinni, niin vesi virtasi heikosti paluulinjaan. Ongelma korjattiin ja veden virtaus saatiin takaisin normaaliksi. Veden virtauksella on suuri merkitys biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmitykseen, sillä lämmitysteho on suoraan verrannollinen tilavuusvirtaan.

4.2 Lämmitysverkostot ja lämmityskohteet

Lämpöpumppujen lämmönkulutuskohteiden tietoja mitataan ja niistä on saatavilla reaaliaikaisia arvoja prosessinäytöiltä. Reaaliaikaisia tietoja halutaan hyödyntää tehokkaammin seurantajärjestelmän avulla. Seurantajärjestelmästä on tarkoitus luoda selkeä ja käyttäjäystävällinen järjestelmä, josta tiedot saadaan nopeasti ja niiden alkuperä tiedetään.

Aluksi selvitetään tarkemmin, minkälaisiin kohteisiin lämpöpumppujen lämpöä siirretään prosessissa ja miten lämpöpumppujen asetusravot on määritetty. Lämpöä siirtyy putkistoissa veden avulla. Vesi johdetaan lämmönvaihtimiin, joista lämpöä siirtyy ilmaan, veteen, vesi-glykoliseokseen tai reaktoreissa olevaan massaan. Alle on koottu molempien lämpöpumppujen lämmityskohteiden perustietoja ja lämpöpumppujen toimintaa.

4.2.1 Scancool-lämmitysverkosto

Scancool-lämpöpumpulta lähtee lämmityslinja, joka menee koko laitoksen lävitse biokaasulaitokselle. Biokaasulaitokselta paluulinja ohjataan sosiaali- ja prosessitilojen lämmitykseen. Sen jälkeen jäähtynyt vesi tuodaan takaisin lämpöpumpulle. Lämmityslinja on rakennettu lähelle katon rajaa, joten se pystyy hyödyntämään tehokkaasti hallissa olevan lämpöisen ilman vuoden ympäri. Linja on suurimmalta osin eristetty putkiston lämpöhäviöiden vähentämiseksi.

Lämmityslinjan loppupäässä sijaitsevien biokaasulaitoksen reaktoreiden sisällä oleva massa vaatii läpi vuoden 42 °C lämpötilan. Yhden reaktorin mitat ovat

6,45 m leveä, 24m pitkä ja 8 m korkea. Samankokoisia reaktoreita on yhteensä 4 kappaletta. Jokaisen reaktorin sisällä on kuusi lämmityspatteria, joiden tehtävä on lämmittää reaktoreiden massaa. Massan lämmittäminen on tärkeää, jotta reaktorissa pysyy asetettu lämpötila ja biokaasua pystyy muodostumaan.

Biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmityksen jälkeen vesi ohjataan prosessi- ja sosiaalitilojen lämmitykseen. Sosiaalitilojen lattialämmityksen lämpöteho muuttuu vuodenaikojen mukaan, sillä lattialämmityksen lämpötilan asetusravo säätyy ulkolämpötilan mukaan. Lisäksi ulkolämpötila vaikuttaa kiertovesipumpun käyntiin. Lattialämmitys on pois päältä, jos ulkolämpötila on suurempi kuin 35 °C.

Paluulinjan vesi lämmittää myös prosessitiloja. Prosessitilojen lämmitys koostuu kahdesta eri kohteesta. Prosessitilojen ilmaa lämmitetään kahdella hallilämmittimellä. Hallin ilman asetusravoksi on asetettu 15 °C. Paluulinjan vedellä lämmitetään myös nestemäisen bunkkerin betoniseiniä, jotta sisällä olevan nesteen lämpötila pysyy yli 0 °C myös talviaikana.

Kokonaisuudessaan Scancool-lämmitysverkosto koostuu keruu- ja lämmityspiiristä. Keruupiirin veden virtaama on 55 m³/h ja lämpötilan asetusravoksi on asetettu 27,5 °C. Lämpötila on määritetty suunnitteluvaiheessa, jotta se pystyy höyrystämään lämpöpumpun sisällä virtaavan kylmäaineen. Lämmityspiirin veden virtaama on noin 35 m³/h ja sitä säädetään paine-erosäätimellä. Paine-erosäädin pitää linjastossa aina 1,5 baarin paine-eron. Lämmityspiirin veden lämpötilaksi suunniteltiin alun perin 70 °C, mutta se on käyttöönoton jälkeen pudotettu 60 °C.

4.2.2 Trane-lämmitysverkosto

Trane-lämpöpumpuilta lähtevä lämmityslinja on samalla tavalla eristetty kuin Scancool-lämmityslinja. Pituutta lämmityslinjalla ei ole kuitenkaan yhtä paljon, sillä lämmityskohteet sijaitsevat lähempänä. Lämmityspiirin tehontarpeen vaihtelu tapahtuu ulkolämpötilojen mukaan, sillä lämmityskohteiden asetusravot muuttuvat vuodenaikojen mukaan.

Trane-lämmitysverkoston suurin lämmönkulutuskohte on tunneleiden tuloilman esilämmitys. Kompostointilaitoksen puolella on tunneleita, joissa laitoksessa käsiteltyä materiaalia kompostoidaan. Tässä aerobisessa prosessissa tarvitaan tietty lämpötila, jotta orgaaninen aines hajoaa. Trane-lämpöpumput lämmittävät tunneleihin menevän ilman kesäkaudella 34 °C, välikaudella 40 °C ja talvikaudella 45 °C. Ilma lämpenee viidessä lämmönvaihtimessa, joissa lämmityspiirin vesi luovuttaa lämmön ilmalle. Lämmönvaihtimet on nimetty GR1, GR2, GR3, GR4 ja GR5. Näiden lämmönvaihtimien lävitse virtaa ilmaa yhteensä 80 000–140 000 m³/h.

Tunneleiden tuloilman esilämmityksen lisäksi Trane-lämpöpumpuilla lämmitetään prosessitilojen lattiaa. Lämmönvaihtimien GR1 ja GR2 kautta virtaava jäähtynyt vesi etenee prosessitilojen lattialämmityksen lämmönvaihtimelle, jossa vesi luovuttaa lämpöä lattialämmityksen vesi-glykoliseokselle. Prosessitilojen lattialämmityksen kiertovesipumppu on päällä, kun ulkolämpötila on alhaisempi kuin 15 °C eli kesäaikaan prosessitilojen lattiaa ei lämmitetä.

Tranen lämmitysverkostossa on kaksi lämpöpumppua rinnakkain. Tranet toimivat vuorotellen 24 tunnin mittaisin käyntijaksoin. Normaalikäytössä ohjelma valitsee lämpöpumpuista pää- ja varapumpun. Varalämpöpumppu käynnistyy, jos lämmityspiirin paluueden lämpötila on pienempi kuin 40 °C yli 60 sekuntia. Varalämpöpumppu pysähtyy, kun paluu virtauksen lämpötila on suurempi kuin 50 °C yli 60 sekuntia.

Lämmitysverkostot ovat erillisiä, joten Trane-lämmitysverkoston asetusarvot poikkeavat Scancool-lämmitysverkosta. Keruupiirin veden virtaama on 65 m³/h tai 130 m³/h, joka riippuu käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä. Keruupiirin lämpötilan asetusarvo on 25,8 °C jotta se pystyy höyrystämään lämpöpumpun sisällä virtaavan kylmäaineen. Lämmityspiirin veden virtaama on noin 70 m³/h tai 130 m³/h, joka riippuu käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä. Lämmityspiirin veden lämpötilan asetusarvo on 55 °C.

4.3 Laskentamenetelmät

Seurantajärjestelmän toiminta pohjautuu automaatiojärjestelmästä saatuun dataan. Jokaista mittausta, joita valvomo-ohjelmisto lukee, voidaan hyödyntää

seurantajärjestelmässä. Osa yksittäisistä mittauksista täytyy yhdistää ketjuiksi erilaisten laskentakaavojen avulla, jotta saadaan selville halutut arvot. Laskentakaavat toimivat seurantajärjestelmän perustana. Kaavoihin sijoitetaan mitausarvot, jonka jälkeen järjestelmä laskee halutun arvon.

Laitoksessa oleviin lämmönkulutuskohteisiin siirretään lämpöä eritavoilla, joten työssä ei pystytä hyödyntämään yhtä ja samaa kaavaa. Kaavojen etsiminen aloitettiin kartoittamalla mitä mittauksia automaatiojärjestelmästä on saatavilla ja minkälaisia kaavoja niiden avulla voidaan hyödyntää.

4.3.1 Vesi-vesilämmönvaihdin

Lämpöpumppujen-, biokaasulaitoksen reaktoreiden-, prosessi- ja sosiaalitulojen lämmitysteho saadaan laskettua lämmönsiirtymisen kaavan avulla. Kaikissa edellä mainituissa lämmityskohteissa lämpöä siirtyy vesi-vesilämmönvaihtimessa.

Tuotettu tai kulutettu lämpöteho voidaan ratkaista kaavasta 1 (Valtanen 2013, 191).

$$\Phi = q_m c \Delta T \quad (1)$$

jossa	Φ	lämpöteho	[kJ/s=kW]
	q_m	veden massavirta	[kg/s]
	c	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	ΔT	lämpötilan muutos	[°T]

Prosessinäytöiltä on luettavissa veden tilavuusvirrat. Kaavan käyttäminen ei kuitenkaan onnistu ennen kuin massavirta on ratkaistu. Massavirta ratkaistaan hyödyntämällä tilavuusvirran yhteyttä tiheyteen (Valtanen 2013, 182) ja se sijoitetaan kaavaan 1.

$$q_m = \rho q_v$$

$$\Phi = q_m c \Delta T$$

$$\Phi = \rho q_v c \Delta T \quad (2)$$

jossa	ρ	veden tiheys	[kg/m ³]
	q_v	veden tilavuusvirta	[m ³ /s]

Kaavasta 2 voidaan ratkaista haluttujen kohteiden tuottama tai luovuttama lämpöteho. Seuraavien kohteiden laskentaan hyödynnetään kaavaa 2: Scancool-lämpöpumpun tuottama lämpöteho, Scancool-lämpöpumpun keruupiiriin ottama lämpöteho, reaktoreiden lämmityksen lämpöteho, sosiaali- ja prosessitilojen lämmityksen lämpöteho, Trane-lämpöpumpun tuottama lämpöteho, Trane-lämpöpumpun keruupiiriin ottama lämpöteho, prosessitilojen lattialämmityksen lämpöteho ja tunneleiden ilman esilämmityksen primäärilämmönvaihtimien lämpöteho.

4.3.2 Vesi-ilmalämmönvaihdin

Seurantajärjestelmän tarkoitus ei ole pelkästään kerätä tietoja lämpöpumpuista vaan myös lämmönkulutuskohteista. Lämmönkulutuksen avulla pystytään miettimään mahdollisia optimointitapoja. Trane-lämpöpumppujen suurin kulkukohde on tunneleiden tuloilman esilämmitys. Esilämmityksessä lämpö siirtyy vesi-ilmalämmönvaihtimessa eli lämpö tuodaan lämmönvaihtimeen vetenä, jossa vesi luovuttaa lämmön ilmalle.

Tunneleiden tuloilman esilämmityksen tarvitseva lämpöteho voidaan ratkaista samasta yhtälöstä kuin vesi-vesilämmönvaihtimen tapauksessa eli kaavasta 2. Sillä poikkeuksella, että vakioina käytetään ilman tiheyttä ja ilman ominaislämpökapasiteettia.

$$\Phi = \rho q_v c \Delta T \quad (2)$$

jossa	ρ	ilman tiheys	[kg/m ³]
	c	ilman ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	q_v	ilman tilavuusvirta	[m ³ /s]

Mukautettua kaavaa 2 hyödynnetään tunneleiden tuloilman esilämmityksen sekundäärilämmönvaihtimien lämpötehon laskentaan.

4.3.3 Lämpökerroin, COP

Lämpökerroin eli COP kuvaa, kuinka paljon käytetyllä sähköenergialla saadaan tuotettua lämpöenergiaa. COP arvo on yleensä suurimmillaan tietyssä toimintaympäristössä, jolloin se toimii tehokkaimmin. Toimintaympäristön muuttuessa esimerkiksi ulkolämpötilan noustessa tai laskettaessa, voi lämpökerroin laskea huomattavasti. (Thermia s.a.) Tämän takia seurantajärjestelmään otetaan mukaan lämpökertoimen seuranta, jotta nähdään sen muutos esimerkiksi ulkolämpötilan muuttuessa.

Scancoolin omassa automaatiojärjestelmässä on mittaus sähkönkulutukselle sekä tuotetulle lämpöenergialle. Näiden avulla saadaan laskettua lämpöpumpun toimintaa määrittävä lämpökerroin. Lämpökerroin lasketaan kaavasta 3

Lämpöpumpun lämpökerroin (Motiva 2017).

$$\varepsilon_l = \frac{Q_1}{W} \quad (3)$$

jossa	Q_1	tuotettu lämpöenergia	[kWh]
	W	käytetty sähköenergia	[kWh]

Aikaisemmin todettiin, että lämpöpumppu koostuu neljästä komponentista eli kahdesta lämmönvaihtimesta, paisuntaventtiilistä ja kompressorista. Lämmönvaihtimet eivät kuluta ollenkaan sähköenergiaa ja paisuntaventtiili voi olla mekaaninen tai sähköinen. Paisuntaventtiilin sähkönkulutus on erittäin pieni verrattuna lämpöpumpun kompressoreihin. Joten suurin osa lämpöpumppujen sähkönkulutuksesta johtuu kompressoreista.

Lämpöpumpun lämpökerroin voidaan määrittää vaihtoehtoisesti myös toisella tavalla, veteen siirtyneen energian avulla. Lämpöpumpun vesiputkisto koostuu kahdesta puolesta, keruupiiristä ja lämmityspiiristä. Keruupiiri luovuttaa energiaa lämpöpumpulle ja lämpöpumppu tuottaa energiaa lämmityspiirille. Näin ollen voidaan olettaa, että lämmityspiirin sisältämä energia erotettuna keruupiirin energiasta on lämpöpumpun käyttämä sähköenergia lämpöhäviöineen. Tätä hyödynnetään etenkin Trane-lämpöpumppujen lämpökertoimen määrit-

tämisessä, sillä valvomo-ohjelmistoon ei tule lämpöpumpulta sähkönkulutus-tietoja.

Lämpökertoimen määrittäminen kaavasta 4 (Valtanen 2013, 191,193).

$$\varepsilon_l = \frac{Q_1}{W}$$

$$\varepsilon_l = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Phi_1 \Delta t}{\Phi_1 \Delta t - \Phi_2 \Delta t}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Phi_1}{\Phi_1 - \Phi_2} \quad (4)$$

jossa	Q_1	tuotettu lämpöenergia	[kJ]
	W	lämpöpumpun käyttämä energia	[kJ]
	Q_2	tuotu lämpöenergia	[kJ]
	Φ_1	lämpöpumpun lämpöteho	[kW]
	Φ_2	lämpöpumpun tuotu lämpöteho	[kW]
	Δt	siirtymäaika	[s]

4.4 Tapauskohtaiset tarkennukset

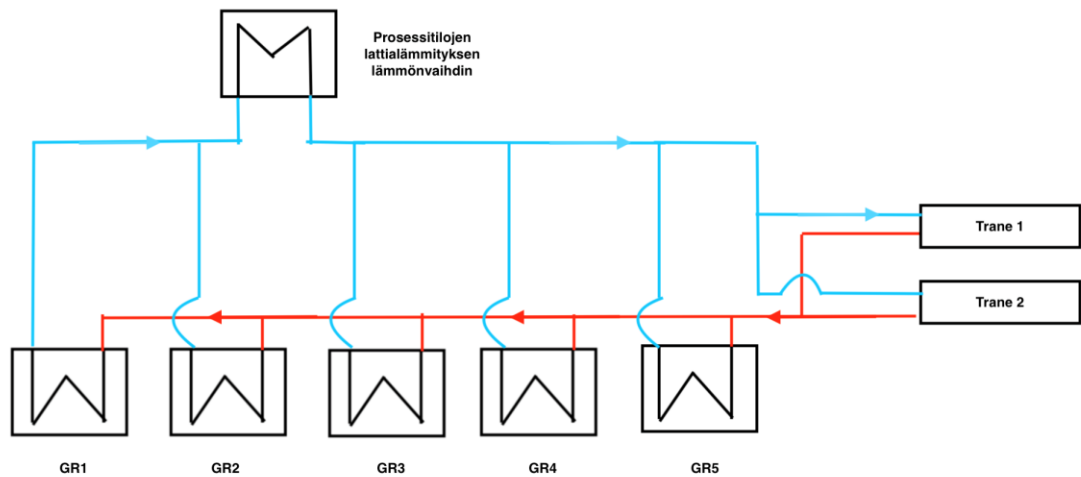
Ennen kuin seurantajärjestelmästä pystytään antamaan toteutus suunnitelma, täytyy ottaa huomioon poikkeukset. Kaikkiin seurantajärjestelmän kaavoihin tarvittavia arvoja ei ole saatavilla prosessinäytöiltä eli niille ei ole mittauksia, joten ne täytyy laskea tai määrittää erikseen. Tässä tapauksessa muuttujina ei oteta huomioon veden tai ilman ominaisuuksia. Niiden oletetaan olevan vakiot. Kaavoissa käytetyt vakiot, kun lämpötila on 20 °C (Valtanen 2013, 412, 425, 410, 426).

- Veden tiheys $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$
- Veden ominaislämpökapasiteetti $c = 4,182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

- Ilman tiheys $\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$
- Ilman ominaislämpökapasiteetti $c = 1,005 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

4.4.1 Prosessitilojen lattialämmitys

Prosessitilojen lattialämmityksen lämmönvaihdin on lämmityslinjan paluupiirissä, johon johdetaan kahden tunnelin tuloilman esilämmityksen lämmönvaihtimen paluuedet (kuva 10). Prosessitilojen lämmönvaihtimelle ei ole mittauksia valvomo-ohjelmistossa vaan pelkästään analogiset lämpötila-anturit lämmönvaihtimen putkissa. Lämmönvaihtimeen menevän veden lämpötila on läpi vuoden $40\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$, joten laskentaan tarvittava veden lämpötilaero lämmönvaihtimessa määritettiin tarkkailujakson jälkeen $24,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (Liite 1).



Kuva 10. Prosessitilojen lattialämmityksen virtauskaavio

Lämmönvaihtimessa virtaava lämminvesi luovuttaa lämpöenergiaa lattialämmityksen vesi-glykoliseokselle. Lattialämmityspiirissä virtaa vesi-glykoliseos, koska sen pakkasenkestävyys on parempi kuin vedellä. Esimerkiksi jos kiertovesipumppu menee rikki, niin vesi-glykoliseos ei jäädy. Vesi-glykoliseokselle täytyy kuitenkin määrittää ominaislämpökapasiteetti. Seoksen ominaislämpökapasiteetti lasketaan painottamalla aineiden omia ominaislämpökapasiteetteja aineen massaosuudella seoksen kokonaismassasta (Thermtest 2017). Seoksen ominaislämpökapasiteetti on $3,26 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

Vesi-glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetin laskemisen jälkeen pystyttiin määrittämään lämmönvaihtimen tilavuusvirta (Liite 2). Tilavuusvirraksi saatiin

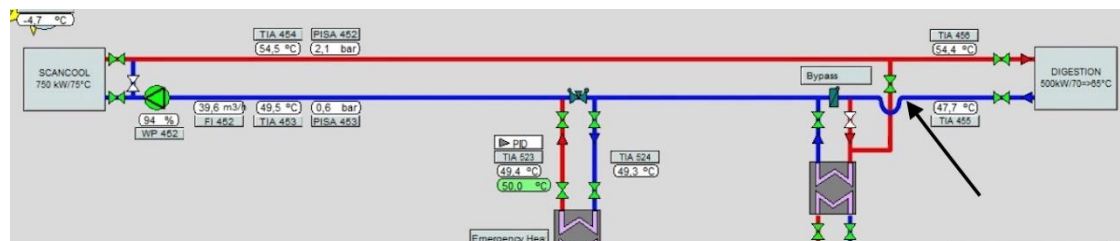
5,4 m³/h tai 10,8 m³/h, joka riippuu käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä.

Tämän lisäksi prosessitilojen lattialämmitykselle täytyy antaa tarkat reunaehdot, milloin sen kuluttamaa lämpöenergiaa mitataan. Joten seurantajärjestelmään laitetaan ehto, että järjestelmä kirjaa ylös prosessitilojen lattialämmityksen lämpötehon, kun lattialämmityspiirin oma kiertovesipumppu on päällä ja lämmityspiirin 3-tieventtiili ei ole kiinni.

4.4.2 Sosiaali- ja prosessitilojen lämmitys

Sosiaali- ja prosessitilojen lämmityksen lämpöenergia otetaan Scancool- lämmityspiiristä. Tässä yhteydessä prosessitilojen lämmityksellä tarkoitetaan ilman lämmitystä. Kesäaikaan tilat lämpenevät biokaasulaitoksen reaktoreiden paluulinjan vedellä, koska silloin lämmöntarve on vähäinen. Talvella voi olla tilanne, että reaktoreilta palaavan veden lämpötila ei ole tarpeeksi korkea sosiaali- ja prosessitilojen lämmittämiseen. Silloin voidaan ottaa osa lämmitysvedestä suoraan reaktoreille menevästä linjasta (kuva 11). Menolinjan lämpötila on korkeampi kuin paluulinjan, koska paluulinja on luovuttanut lämpöenergiaa reaktoreiden sisällä. Näin sosiaali- ja prosessitilojen lämmönvaihtimien läpi virtaavan veden lämpötilaa saadaan nostettua.

Sosiaali- ja prosessitilojen lämmityksen tehon laskemisessa käytetään kesällä ja talvella reaktoreiden paluuveden lämpötilaa. Jos talvella on kovia pakkasia ja ohituslinja avataan, niin käytetään laskennassa meno- ja paluulinjan lämpötilan keskiarvoa.

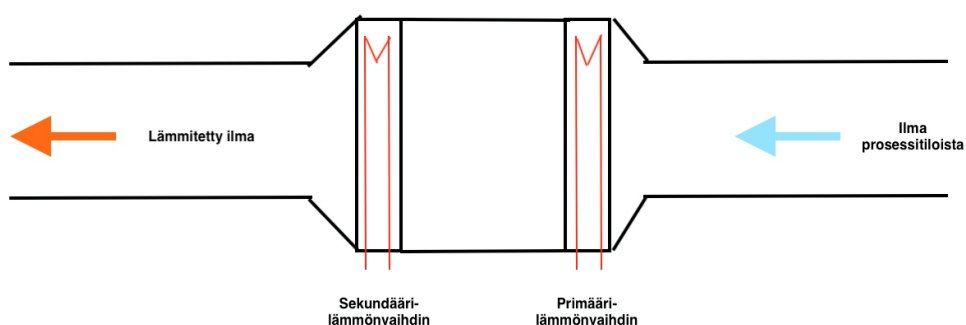


Kuva 11. Sosiaali- ja prosessitilojen lämmityksen talviasetus (WinCC 2017)

Lisäksi laskennassa ei erikseen yksilöidä sosiaalitilojen lattian, prosessitilojen hallilämmittimien tai nestemäisen materiaalin bunkkerin rakenteiden tarvitsemaa lämpötehoa vaan kaikkien edellä mainittujen lämmönkulutuskohteiden tarvitsema lämpöteho lasketaan yhteen.

4.4.3 Tunneleiden tuloilman esilämmitys

LABIO OY:n laitos on suunniteltu, että kaikissa prosessitiloissa vallitsee alipaine. Alipaine saavutetaan 80 000–150 000 m³/h poistoilmavirtauksen avulla. Tästä ilmamäärästä suurin osa otetaan prosessitiloista ja johdetaan suoraan tunneleiden tuloilman esilämmityksen lämmönvaihtimille. Tunneleiden tuloilman esilämmitys on kaksivaiheinen (kuva 12). Ilmakanaviin on laitettu lämmönvaihdinkokonaisuuksia, joiden sisällä on kaksi erillistä lämmönvaihdin kennoa.



Kuva 12. Tunneleiden tuloilman esilämmityksen lämmönvaihdin

Ilmavirta ohjataan ensimmäisen lämmönvaihdin kennon lävitse, jossa ilma esilämmitetään. Ensimmäisestä lämmönvaihtimesta käytetään jatkossa nimitystä primäärilämmönvaihdin. Primäärilämmönvaihdin kennon sisällä virtaava vesi on lämpötilaltaan 20–37 °C läpi vuoden. Se saa lämpöenergiansa jäähdyttämällä laitoksen jäähdytysjärjestelmän vettä. Toisen lämmönvaihdin kennon sisällä virtaava vesi on pääasiassa läpi vuoden noin 55 °C. Veden lämpötilaa ei säädetä eri vuodenaikoina vaan pelkästään lämmönvaihtimen edessä olevaa 3-tieventtiiliä ohjataan lämmöntarpeen mukaan. Se saa lämpöenergiansa suoraan Trane-lämpöpumpuilta. Toisesta lämmönvaihdin kennosta käytetään jatkossa nimitystä sekundäärilämmönvaihdin.

Tunneleiden tuloilman esilämmityksen lämpöteho määritetään erikseen molemmille lämmönvaihtimille. Primäärilämmönvaihtimen lämpöteho määritetään veden luovuttaman lämmön avulla ja sekundäärilämmönvaihtimen teho määritetään ilman lämpenemisen avulla. Nämä yhdessä kertovat kuinka paljon energiaa kuluu tunneleiden tuloilman esilämmitykseen.

Primäärilämmönvaihdin

Primäärilämmönvaihtimien lämpötehojen oletetaan jakaantuvan tasaisesti kaikkien 5 lämmönvaihtimen kesken, sillä valvomo-ohjelmistosta ei ole saatavilla lämmönvaihtimissa virtaavan veden tilavuusvirtaa tai lämpötilaa. Vesi luovuttaa lämpöä ilmalle ja ilma lämpenee ennen kuin se virtaa sekundäärilämmönvaihtimeen, joten primäärilämmönvaihtimien teho määritetään lämmönvaihdin kennoissa virtaavan veden lämpötilaeron avulla.

Sekundäärilämmönvaihdin

Kaikkien viiden lämmönvaihtimen lävitse virtaava ilmamäärä vaihtelee käynnissä olevien tunneleiden perusteella, joita on kompostointilaitoksessa. Jotta sekundaarilämmönvaihtimien lämpöteho voidaan laskea, täytyy määrittää lämmönvaihtimien läpi virtaavan ilman tilavuusvirrat. Ilmavirtaus ei ole vakio eikä lämmönvaihtimien lävitse virtaavalle ilmalle ole mittausantureita, joten tilavuusvirtojen määrittämiseen tarvittiin mittauksia.

Mittaukset suoritettiin teston 445 -monitoimimittarilla (kuva 13). Monitoimimittarilla pystytään mittaamaan useita eri suureita tarvittaessa myös samanaikaisesti. Mittarissa on kaksi input-liitintä antureille. Mitattavia suureita ovat lämpötila, virtausnopeus, kosteus, paine, paine-ero, CO₂- ja CO- pitoisuus. (Sensorcell Oy s.a.)



Kuva 13. Teston-monitoimimittari ja mittausanturi

Mittaukset suoritettiin 13 eri päivänä ja mittauksia kertyi yhteensä 14 (liite 3). Tilavuusvirtojen jakautuminen koottiin taulukkoon 1. Taulukosta näkee, että tilavuusvirtojen jakautuminen lämmönvaihtimiin on todella epätasaista. Yli kolmannes ilmavirtauksesta kulkee lämmönvaihdin GR3 lävitse. Kun laitoksen tarvitseman ilmamäärä on huipussaan, tämä tarkoittaa jopa 48 000 m³/h virtausta. Vastakohta on lämmönvaihdin GR1, jonka lävitse virtaa pienimmillään noin 7 700 m³/h. Kaksi mittauskertaa on merkitty keltaisella, sillä ne eroavat suuresti saman mittauspaikan keskiarvosta. Näiden mittauksien aikaan tapahtunut virtausnopeuksien heikentyminen on ollut hetkellinen, joten näiden mittauskertojen lukemia ei huomioida keskiarvon laskemiseen. Lämmönvaihtimien tilavuusvirtoja verrattiin laitoksen piipusta ulospuhallettuun tilavuusvirtaan. Sen pohjalta jokaiselle lämmönvaihtimelle määritettiin kerroin, joka ilmaisee lämmönvaihtimen ilman tilavuusvirran suhteessa ulospuhallettuun ilmaan. Tilavuusvirtojen suhde piipusta ulospuhallettuun ilmaan on seuraavanlainen: GR1 0,093; GR2 0,215; GR3 0,395; GR4 0,149 ja GR5 0,148.

GR5	GR4	GR3	GR2	GR1
17,7 %	14,4 %	33,6 %	27,3 %	7,1 %
19,3 %	13,8 %	37,6 %	22,7 %	6,7 %
16,9 %	13,5 %	35,9 %	27,1 %	6,6 %
17,7 %	14,6 %	38,7 %	22,3 %	6,7 %
3,9 %	14,8 %	48,0 %	20,0 %	13,3 %
17,3 %	13,5 %	36,5 %	22,5 %	10,3 %
10,1 %	13,2 %	45,4 %	19,9 %	11,5 %
15,9 %	16,1 %	35,8 %	23,2 %	9,0 %
10,3 %	15,4 %	37,7 %	26,8 %	9,9 %
15,7 %	16,3 %	36,2 %	22,8 %	9,0 %
16,4 %	16,9 %	40,0 %	17,2 %	9,6 %
14,8 %	17,1 %	46,8 %	10,2 %	11,2 %
14,9 %	18,8 %	49,0 %	16,3 %	1,0 %
17,1 %	13,7 %	41,1 %	17,4 %	10,7 %
14,8 %	14,9 %	39,5 %	21,5 %	9,3 %

Taulukko 1. Tilavuusvirtojen jakautuminen lämmönvaihtimissa

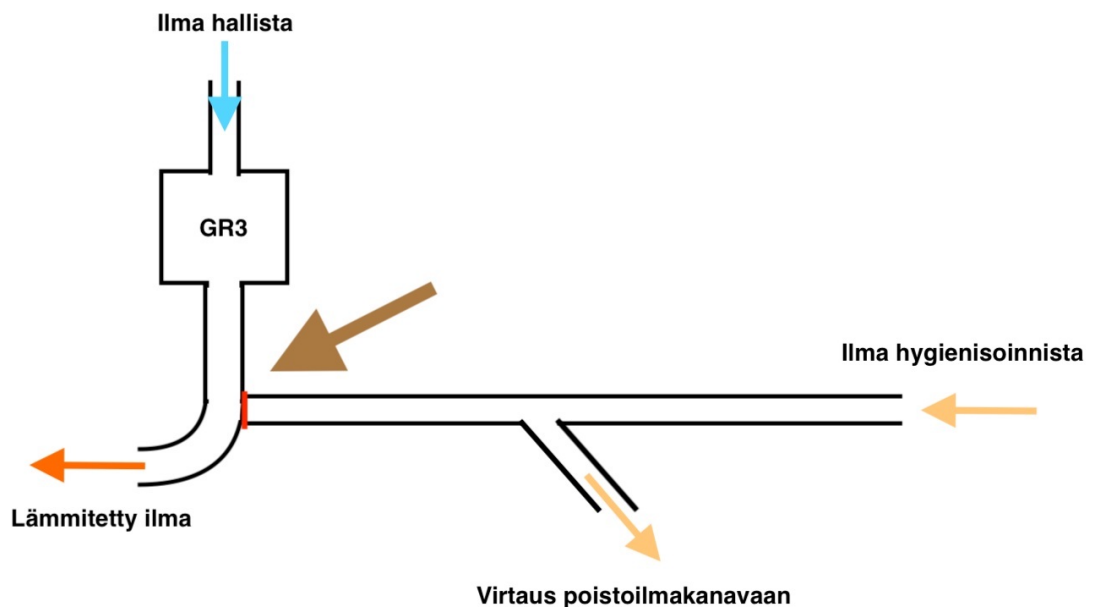
Seurantajärjestelmässä täytyy lisäksi huomioida, että osa ilmasta lämmitetään primäärilämmönvaihtimen avulla. Joten sekundääripuolen lämpöteho määritetään ilman lämpeämisen avulla ja saadusta tuloksesta erotetaan primääripuolen lämpöteho.

Hygienisoinnin poistoilma

Tunneleiden tuloilman esilämmityksen mittauksien aikana huomattiin, että kaikki piipusta ulospuhallettu ilma ei mene tunneleiden lämmönvaihtimien lävitse. Koska tunneleiden esilämmityksen lämpöteho määritetään piipusta ulospuhalletun tilavuusvirran mukaan, täytyi selvittää kuinka paljon ilmaa virtaa lämmönvaihtimien ohi.

Laitoksen piirrustuksia tutkimalla huomattiin, että hygienisointitunneleiden poistoilma virtaa suoraan piipun poistoilmakanavaan eli tunneleiden tuloilman lämmönvaihtimien ohi. Tämä toimenpide sen takia, että ei ole ollut varmaa tietoa aiheuttaako hygienisoinnin poistoilma korroosiota tunneleiden tuloilman putkistoissa tai lämmönvaihtimissa (Puranen 2018).

Kuvassa 14 on esitetty pääpiirteittäin hygienisoinnin poistoilman virtaus. Poikittaissuunnassa kulkeva putki on hygienisoinnin poistoilmakanava. Poistoilman virtaus on oikealta vasemmalle. Nuolella osoitetaan välipellin paikkaa, josta virtauksen odotettiin jatkuvan lämmönvaihtimien GR3 ilmakanavaan.

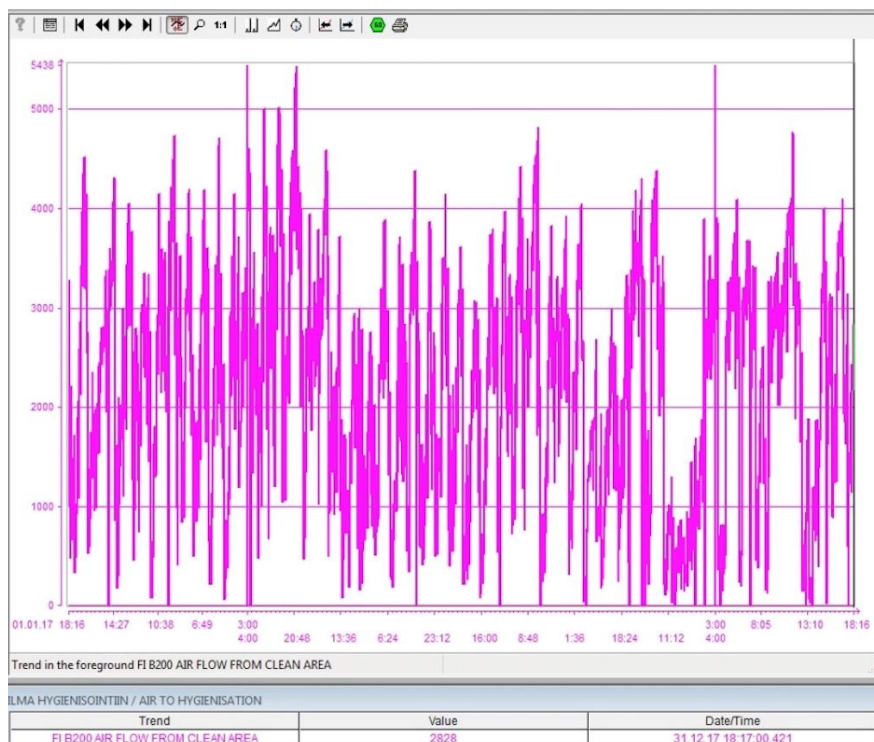


Kuva 14. Hygienisoinnin poistoilmakanavan välipelti

Valvomo-ohjelmistosta luettavan hygienisoinnin virtausmittauksen tarkkuus päätettiin tarkastaa käsimitoituksilla. Hygienisoinnin poistoilmamäärästä tehtiin

mittauksia teston 445 -monitoimimittarilla samalla tavalla kuin tunneleiden esilämmityksestä eli ensimmäinen mittaus otettiin putken halkaisijan suhteen keskipisteestä. Putkisto on kokoa DN560 eli mittaukset suoritettiin kohdista 280mm, 200mm ja 100mm. Hygienisoinnin virtausmittauksella ei ole prosessin toiminnan kannalta merkitystä, sillä mittaus ei vaikuta laitoksen toimintaan tai mihinkään toimilaitteeseen. Työssä täytyy kuitenkin määrittää tarkka virtausmäärä, koska sitä käytetään tunneleiden tuloilman esilämmityksen lämmönvaihtimien lämpötehon laskentaan.

Ensimmäisen mittauksen aikana huomattiin, että mittausanturilla saatu tilavuusvirta oli noin 3- kertainen verrattuna valvomo-ohjelmiston näyttämään arvoon (liite 4). Tästä syystä valvomo-ohjelmistosta avattiin tilavuusvirran trendi vuodelle 2017. Trendistä oli havaittavissa, että virtauksen vuoden aikana saavuttama maksimiarvo oli noin 5 000 m³/h (kuva 15), vaikka käsimitauksilla päästiin jopa 10 500 m³/h tilavuusvirtaan eikä puhallin pyörinyt 100 %- nopeudella.



Kuva 15. Hygienisointitunneleiden tilavuusvirta (WinCC 2017)

Kaikkia mittaustuloksia vertaamalla valvomo-ohjelmiston tilavuusvirtaan huomattiin, että mittaukset olivat 2,9-kertaisia verrattuna valvomo-ohjelmiston näyttämään virtaukseen mittaushetkellä. Tämän lisäksi putkiston suunnitelua koskevasta dokumentista selvisi, että putkiston kapasiteetiksi oli laskettu 15

000 m³/h (RAB GmbH 2012, 61). Näin ollen voidaan olettaa, että valvomo-ohjelmisto näyttää noin kolmasosan liian pienen virtauksen.

Mittausvirhe ja vuodot

Hygienisoinnin tilavuusvirta huomioitiin mittaustuloksissa, jonka jälkeen tunneleiden lämmönvaihtimien tilavuusvirtoja ja valvomo-ohjelmiston mittausta piipun tilavuusvirtasta verrattiin keskenään. Lukemissa oli edelleen eroja, joten eroavuuden syyksi todettiin mittausvirheet ja vuodot. Mittausvirheitä syntyy, sillä käsin suoritettua mittausta ei pysty suorittamaan jokaisella kerralla aivan samalla tavalla. Pienetkin mittausanturin asennon muutokset tai käden liikkeet voivat vaikuttaa mitausarvoon.

Vuotoilma sen sijaan muodostuu tiivisteiden, venttiilien ja rakenteiden kautta vuotavasta ilmasta. Vuotoilman ja mittausvirheen osuus arvioitiin piipun tilavuusvirrasta. Piipun tilavuusvirrasta vähennettiin tunneleiden tuloilman tilavuusvirrat sekä hygienisoinnin poistoilmakanavan tilavuusvirta.

Vähennysten jälkeen mittausvirheeksi arvioitiin 4 % ja vuotoilmaksi 4 % eli näiden yhteenlaskettu arvo piipun tilavuusvirrasta on 8 %.

4.5 Seurantajärjestelmän suunnitelma

Seurantajärjestelmän pohjatyönä on ollut kartoittaa mitattavat suuret, etsiä käytettävät kaavat, päättää mitä tietoja seurantajärjestelmä kerää ja määrittää toiminnan reunaehdot. Näiden avulla luodaan tapauskohtaiset kaavat, jotka laitetaan seurantajärjestelmään. Kaavat ovat muotoa:

- **Haluttu tieto** = määritetty arvo × vakio × mittausanturi

- **Scancool tuotettu lämpöteho** = $998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FI\ 452 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ 454 - TIA\ 453) \text{°C}$

- **Scancool lämmityspiiri tilavuusvirta** = $FI\ 452 \text{ (m}^3/\text{h)}$

- **Scancool otettu lämpöteho** = $998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FI\ 451 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ 452 - TIA\ 451) \text{°C}$

- **Scancool keruupiiri tilavuusvirta** = $FI\ 451 \text{ (m}^3/\text{h)}$

$$\text{- Scancool COP} = \frac{\text{Scancool kWh/IN}}{\text{Scancool kWh/OUT}}$$

$$\text{- Scancool COP} = \frac{\text{Scancool tuotettu lämpöteho}}{\text{Scancool (tuotettu lämpöteho - otettu lämpöteho)}}$$

$$\text{- Reaktorit lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 452} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 456} - \text{TIA 455})^\circ\text{C}$$

$$\text{- Sosiaali- ja prosessitilat lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 452} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 455} - \text{TIA 524})^\circ\text{C}$$

Vaihtoehtoisesti talvikaudella

$$\text{- Sosiaali- ja prosessitilat lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 452} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times \left(\frac{\text{TIA 455} + \text{TIA 456}}{2} - \text{TIA 524}\right)^\circ\text{C}$$

$$\text{- Trane tuotettu lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 402} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 404} - \text{TIA 403})^\circ\text{C}$$

$$\text{- Trane lämmityspiiri tilavuusvirta} = \text{FI 402} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

$$\text{- Trane poistoilmakanava otettu lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 401} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 402} - \text{TIA 401})^\circ\text{C}$$

$$\text{- Trane prosessivesitankki otettu lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{\text{FI 303} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 302} - \text{TIA 301})^\circ\text{C}$$

- Trane otettu lämpöteho yhteensä

$$= \text{Poistoilmakanava otettu lämpöteho} + \text{Prosessivesitankki otettu lämpöteho}$$

$$\text{- Trane keruupiiri tilavuusvirta} = \text{FI 401} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

$$\text{- Trane COP} = \frac{\text{Trane tuotettu lämpöteho}}{\text{Trane (tuotettu lämpöteho - otettu lämpöteho)}}$$

$$\text{- Tunnelien lämmitys primääripuolen lämpöteho yhteensä} = 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{FI 331} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (\text{TIA 325} - \text{TIA 334})^\circ\text{C}$$

- Tunnelien lämmitys primääripuolen lämpöteho keskiarvo =

$$\frac{\text{Tunnelien lämmitys primääripuolen lämpöteho yhteensä}}{\text{...}}$$

$$\text{- Lämmönvaihdin GR 1 sekundääripuolen lämpöteho} = 0,093 \times 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FIA\ B401-0,04 \times FIA\ B401-2,9 \times FI\ B200 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ B011 - TIA\ B001) \text{°C} -$$

primääripuolen lämpöteho keskiarvo

$$\text{- Lämmönvaihdin GR 2 sekundääripuolen lämpöteho} = 0,215 \times 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FIA\ B401-0,04 \times FIA\ B401-2,9 \times FI\ B200 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ B012 - TIA\ B001) \text{°C} -$$

primääripuolen lämpöteho keskiarvo

$$\text{- Lämmönvaihdin GR 3 sekundääripuolen lämpöteho} = 0,395 \times 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FIA\ B401-0,04 \times FIA\ B401-2,9 \times FI\ B200 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ B013 - TIA\ B001) \text{°C} -$$

primääripuolen lämpöteho keskiarvo

$$\text{- Lämmönvaihdin GR 4 sekundääripuolen lämpöteho} = 0,149 \times 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FIA\ B401-0,04 \times FIA\ B401-2,9 \times FI\ B200 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ B014 - TIA\ B001) \text{°C} -$$

primääripuolen lämpöteho keskiarvo

$$\text{- Lämmönvaihdin GR 5 sekundääripuolen lämpöteho} = 0,148 \times 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C} \times \frac{FIA\ B401-0,04 \times FIA\ B401-2,9 \times FI\ B200 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times (TIA\ B015 - TIA\ B001) \text{°C} -$$

primääripuolen lämpöteho keskiarvo

- Tunnelien lämmitys sekundääripuolen lämpöteho =

Lämmönvaihtimien sekundääripuolen lämpöteho GR 1 + GR 2 + GR 3 + GR 4 + GR 5

- Tunnelien lämmitys lämpöteho = Primääripuolen lämpöteho + sekundääripuolen lämpöteho

$$\text{- Prosessitilojen lattialämmityksen lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{5,4 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times 24,6 \text{°C} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C}$$

Vaihtoehtoisesti 2 lämpöpumppua päällä

$$\text{- Prosessitilojen lattialämmityksen lämpöteho} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10,8 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3600} \times 24,6 \text{°C} \times 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{°C}$$

- Poistoilmakanavan tilavuusvirta = FIA B401 (m^3/h)

- Sisälämpötila = TIA B001 (°C)

- Ulkolämpötila = TIA B004 (°C)

5 OPTIMOINTI

Optimoinnilla on tärkeä osa nykypäivän yhteiskunnassa. Toimintaa halutaan jatkuvasti tehostaa ja kuluja pienentää. Silloin usein ryhdytään optimoimaan olemassa olevaa järjestelmää tai prosessia. Optimoinnilla halutaan hyödyntää esimerkiksi laitteiden-, järjestelmien- tai henkilöstön kapasiteettia tehokkaammin. Tämä voi johtaa taloudellisiin säästöihin, kuten teollisuusympäristössä energiankulutuksen pienentymiseen tai laitteistojen pitkäikäisyyteen ja huolto- tarpeen vähenemiseen.

Jos halutaan ryhtyä optimoimaan laitoksen toimintaan, on hyvä jakaa laitos erilaisiin sektoreihin. Sektoreita voi olla esimerkiksi lämmöntuotanto, valaistus, pumput, puhaltimet ja linjastot. Lämmöntuotanto on todella riippuvainen vuodenajoista, sillä vuodenaajat merkitsevät lämmöntarpeen muutosta. Kesällä aurinko lämmittää rakenteita ja lämpösäteily johtuu rakenteiden lävitse. Tällöin yleensä myös lämmöntarve on vähäisempi. Talvella taas pakkanen lisää lämmönkulutusta, kun lämpöhäviöt kasvavat ulkolämpötilojen laskiessa. Opin- näytetyössä lähdettiin tarkastelemaan vuodenaikojen vaikutusta lämmönkulu- tuskohteisiin.

5.1 Optimoinnin kohde

Ulkolämpötilan muutos vaikuttaa biokaasulaitoksen reaktoreihin, vaikka laitok- sessa olevien lämpöpumppujen lämmityspiirien putket ovat eristettyjä ja eris- teitä ympäröivä ilma on läpi vuoden noin 20 °C. Energiatarpeen muutos johtuu ulkolämpötilan vaikutuksesta syötteen lämpötilaan ja reaktoreiden seinäpinto- hin, sillä reaktoreiden seinistä noin puolet ovat suoraan kosketuksissa ulkoil- maan.

Reaktorit ovat pääosin betonista valmistettuja suuria säiliöitä (kuva 16). Ra- kennusvaiheessa maahan valettiin ensin 40 cm pohjavalu, jonka päälle reak- toreita ryhdyttiin kasaamaan (Puranen 2018). Reaktorit pystytettiin pareittain

ja ne numeroitiin 1,2,3 ja 4. Reaktorit 1 ja 2 muodostivat yhden kokonaisuuden ja reaktorit 3 ja 4 toisen kokonaisuuden. Reaktoriparien välissä on biokaasulaitoksen hallitilaa, joka on lämmitettynä läpi vuoden. Myös kaikkien reaktoreiden päätyseinät sijaitsevat hallitilassa.



Kuva 16. Biokaasulaitoksen reaktoreiden ulkoseinä

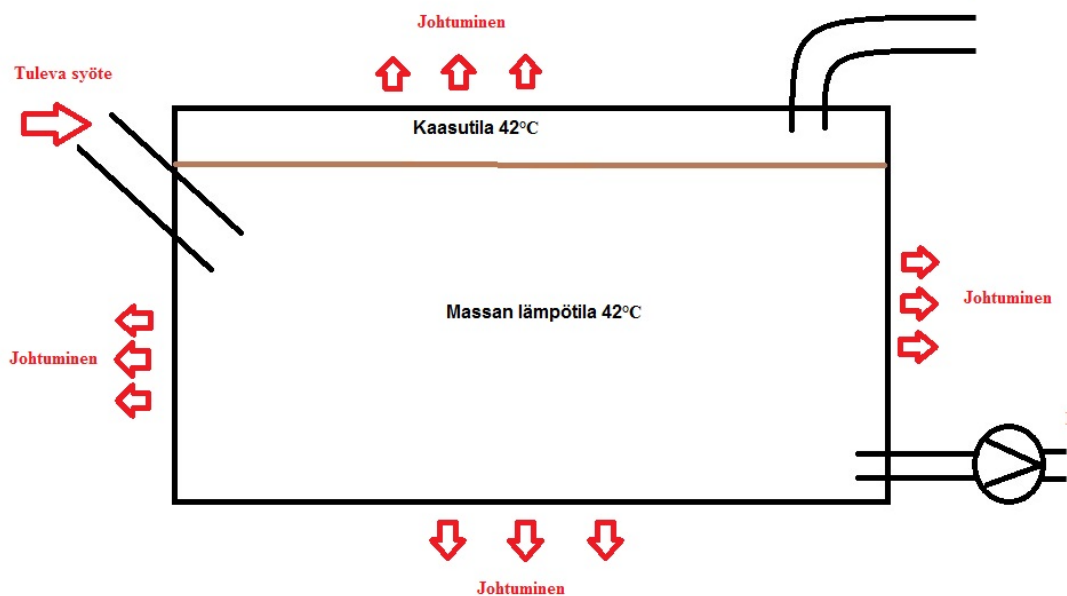
Reaktoreita lämmittävä Scancool-lämpöpumppu on ollut alusta asti ylimitoitettu. Scancoolin oli tarkoitus tuottaa 70 °C vettä lämmityspiiriin, mutta nykyisellään se tuottaa vain 60 °C vettä. Tämä on vaikuttanut Scancool-lämpöpumpun käyntiin. Tehontarve on pienentynyt, joten lämpöpumppu käynnistyy useita kertoja ja käy kerrallaan lyhyen ajan. Useat käynnistykset rasittavat lämpöpumpun kompressoreita ja lisäävät sähkönkulutusta. Joten optimoinnissa lähdettiin selvittämään, voidaanko Scancool-lämpöpumpulla tuottaa molempien lämmityspiirien lämmöntarve. Samalla Scancool-lämpöpumpun lämmityspiirin asetusarvo nostettaisiin takaisin 70 °C, jolloin lämpöpumpun lämpöteho olisi 750 kW.

Vuodenaikojen aiheuttamat ulkolämpötilan muutokset selvitettiin valvomo-ohjelmiston kautta. Valvomo-ohjelmisto mittaa jatkuvasti ulkolämpötilaa, sillä sen avulla ohjataan eri toimilaitteita. Ulkolämpötilan aikajanaksi asetettiin vuosi 2017 eli 1.1.2017–31.12.2017. Valvomo-ohjelmisto piirsi lämpötilalle trendin. Tämä trendi jouduttiin muuttamaan CSV-tiedostoksi ja siirtämään CSV-tiedostona Excelliin luettavaksi. Tästä toimenpiteestä tehtiin toimintaohje, sillä laitoksen henkilöstö joutuu hakemaan CSV-tiedostoja erittäin harvoin ja toi-

mintaohje toimii tarvittaessa muistilistana. Toimintaohje on liitteessä 5. Vuoden 2017 lämpötiloja lähdettiin selvittämään talvi- ja kesäkauden ajalta. Kesäkaudella kesä-elokuussa ulkolämpötila oli minimissään 2,3 °C ja maksimissaan 32,0 °C. Talvikaudella marras-helmikuussa pienin mitattu ulkolämpötila oli -25,0 °C ja suurin mitattu lämpötila oli 8,8 °C. Näin ollen biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmönkulutusta lähdettiin tarkastelemaan edellä mainituissa lämpötiloissa.

5.2 Scancool-lämpöpumpun lämpöteho eri vuodenaikoina

Scancool-lämpöpumppu tuottaa biokaasulaitoksen reaktoreiden tarvitseman lämmön. Scancool-lämpöpumpun lämpötehon riippuvuus ulkolämpötilan muutoksesta määritetään reaktoreiden lämmöntarpeen avulla (kuva 17). Reaktoreiden laskennallinen lämmöntarve koostuu rakenteiden johtumishäviöistä ja reaktoreihin syötettävän materiaalin lämmittämisestä (Pyykkönen & Rasi 2017). Molemmille täytyy määrittää laskentatapa. Lämmöntarvetta tarkastellaan kesäkauden ja talvikauden lämpötilan mukaan. Sosiaali- ja prosessitilojen lämmityksen oletetaan olevan merkityksettömän pieni, joten sitä ei huomioida laskennassa.



Kuva 17. Reaktoreiden lämmöntarve

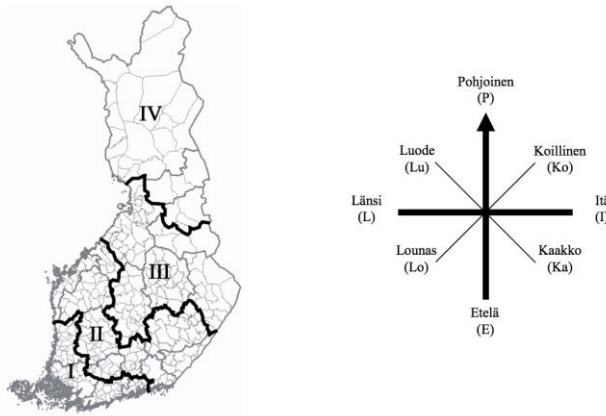
Reaktoreiden rakenteiden johtumisesta syntyvä lämpöhäviö

Lämpöä siirtyy rakenteiden kautta johtumalla ulkoilmaan tai biokaasulaitoksen hallitilaan. Eri aineilla on erilaiset lämmönjohtavuudet. Lämmönjohtavuus (λ) kertoo kuinka hyvin materiaali johtaa lämpöä. Mitä suurempi lämmönjohtavuus arvo on, sitä helpommin lämpöä siirtyy. Reaktoreiden rakenteiden materiaaleille on seuraavanlaiset lämmönjohtavuudet: betoni 2 W/(m×°C) (Valtanen 2013, 400), katon Styrodur-eriste 0,035 W/(m×°C) (EISENMANN 2013) ja seinän sekä lattian Styrodur DOW Floormate 200 -eriste 0,029 W/(m×°C) (DOW s.a.). Reaktoreiden rakenteiden kautta johtuva lämpöhäviö lasketaan kaavasta 5 (Valtanen 2013, 191).

$$\Phi = A \times \frac{T_u - T_s}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}} \quad (5)$$

jossa	Φ	johtumishäviö	[W]
	A	pinta-ala	[m ²]
	T_u	ulkopinnan lämpötila	[°C]
	T_s	sisäpinnan lämpötila	[°C]
	l	eristekerroksen paksuus	[m]
	λ	lämmönjohtavuus	[W/(m × °C)]

Suomi on jaettu lämpötilan perusteella 4 eri säävyöhykkeeseen. Biokaasulaitos sijaitsee Lahdessa, joten se kuuluu säävyöhykkeeseen 2 (kuva 18). Säävyöhykkeen 2 keskimääräinen ulkolämpötila on +4,6 °C (Finlex 2011, 29). Biokaasulaitoksen lattian alla ei kulje ryömintätiloja tai muuta vastaavanlaista ilmatilaa, joten lattialle käytetään maavaraisen lattian mitoituslämpötilaa. Lattian mitoittava ulkolämpötila on 2 °C korkeampi kuin vyöhykkeen vuoden keskilämpötila eli +4,6 °C + 2 °C = +6,6 °C. (Harsia 2009.)



Kuva L2.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko L2.1.		
Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.		
Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

Kuva 18. Suomen säävyöhykkeet (Finlex 2011, 29)

Reaktoreiden rakenteiden johtumisen lämpöhäviöt laskettiin liitteessä 6. Reaktoreiden johtumisen lämpöhäviöt olivat kesällä minimissään 12,1 kW ja maksimissaan 19 kW. Reaktoreiden johtumisen lämpöhäviöt olivat talvella minimissään 17,5 kW ja maksimissaan 25,4 kW.

Reaktoreiden syötteen lämmittämisen lämpöteho

Reaktoreihin syötetään materiaalia, joka on biokaasun muodostumisen kannalta olennaista. Materiaalista käytetään nimitystä syöte. Syöte kuljetetaan ruuvikuljettimien avulla reaktoreihin sisään. Syötteen lämpötila muuttuu ulkolämpötilan mukaan, sillä ruuvikuljettimelle virtaa tuuletusilmaa suoraan ulkoa. Näin ollen syötteen lämpötilaksi arvioidaan talvikaudella 5 °C ja kesäkaudella syötteen lämpötila on sama kuin hallin lämpötila eli 20 °C. Syöte lämmitetään 42 °C massaksi reaktorin sisällä. Syötteen ominaislämpökapasiteetin oletetaan vastaavan veden ominaislämpökapasiteetti (Deublein & Steinhauser 2008, 411). Reaktoreihin syötetään päivässä 14–30 tonnia eli neljään reaktoriin syötetään yhteensä 56–120 tonnia. Syötteen lämmitykseen tarvittava lämpöenergia saadaan hyödyntämällä kaavaa 6.

$$Q = cm\Delta T \quad (6)$$

jossa

Q	syötteen lämpöenergia	[kJ/vrk]
m	vuorokaudessa syötetty määrä	[kg/vrk]

c	syötteen ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
ΔT	lämpötilan muutos	[°C]

Reaktoreiden syötteen lämmitykseen kulutettu lämpöenergia on laskettu liitteessä 7. Reaktoreihin ei syötetä jatkuvasti materiaalia, joten ensin määritettiin syötteen lämmittämiseen kuluva lämpöenergia vuorokaudessa ja sen avulla keskimääräinen lämpöteho. Syötteen lämmittämiseen tarvittava teho on kesällä minimissään 59,6 kW ja maksimissaan 127,8 kW. Syötteen lämmittämiseen tarvittava teho on talvella minimissään 100,3 kW ja maksimissaan 214,9 kW.

Lämpöteho eri vuodenaikoina

	Kesä $\bar{\Delta}$ min	Kesä $\bar{\Delta}$ max	Keskiarvo	
Johtuminen	12,1	19	15,6	kW
Tuleva $\bar{\Delta}$ syöte	59,6	127,8	93,7	kW
Lämmöntarve	71,7	146,8	109,3	kW

Taulukko 2. Biokaasulaitoksen lämmöntarve kesällä

Biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmöntarve on keskimäärin kesällä 109 kW. Suurin lämmöntarve muodostuu reaktoreihin ajettavan syötteen lämmittämisestä (taulukko 2).

	Talvi $\bar{\Delta}$ min	Talvi $\bar{\Delta}$ max	Keskiarvo	
Johtuminen	17,5	25,4	21,5	kW
Tuleva $\bar{\Delta}$ syöte	100,3	214,9	157,6	kW
Lämmöntarve	117,8	240,3	179,1	kW

Taulukko 3. Biokaasulaitoksen lämmöntarve talvella

Biokaasulaitoksen reaktoreiden lämmöntarve on keskimäärin talvella 179 kW. Suurin lämmöntarve muodostuu myös talvella syötteen lämmittämisestä (taulukko 3).

5.3 Trane-lämpöpumppujen lämpöteho eri vuodenaikoina

Seuraavaksi tarkastellaan Trane-lämpöpumppujen lämpötehoa eri vuodenaikoina. Lämpöteho määräytyy lämmönkulutuskohteiden lämmöntarpeen mu-

kaan. Lämmöntarpeet selvitetään, jotta voidaan laskea yhteen molempien lämmityspiirien lämmöntarve. Jos molempien lämmityspiirien yhteenlaskettu lämmöntarve on alle 750 kW, niin Scancool-lämpöpumpulla voidaan tuottaa kaikki tarvittava lämpö.

5.3.1 Trane-lämpöpumppujen lämpöteho kesällä

Lämmöntarpeen määrittäminen aloitetaan selvittämällä kesäkauden matalin lämpötila hallissa. Kun lämpötila on matalin, lämmöntarve on suurimmillaan. Valvomo-ohjelmisto oli kerännyt vuoden 2017 lämpötilat. Kesäkauden eli kesä-elokuun matalin lämpötila hallissa oli 16,7 °C. Lämpötila mitattiin 2.6.2017.

Trane-lämmityspiirin lämmöntarpeen määrittämiseksi täytyy selvittää erikseen tunneleiden tuloilman primääri- ja sekundäärilämmönvaihtimien lämpöteho. Primäärilämmönvaihtimen lämpötehon laskentaan tarvittavat arvot katsottiin valvomo-ohjelmistosta, kun hallin ilma oli viileimmillään 2.6.2017. Kyseisenä päivänä primääripuolen virtaus oli 0 m³/h, joten putkistossa ei ollut virtausta. Tarkemmin katsottua huomattiin, että primäärilämmönvaihtimet otettiin pois käytöstä toukokuun lopulla ja otettiin takaisin käyttöön syyskuun alussa, joten primääripuolen lämpötehoa ei huomioida laskuissa.

Myös prosessitilojen lattialämmityksen oletetaan olevan kesäkuukausina vain hetkittäin päällä, joten sitä ei huomioida lämmönkulutuksessa. Näin ollen tunneleiden esilämmityksen tarvitsema lämpöteho saadaan suoraan ilman lämpötilaeron avulla.

Trane-lämpöpumppujen lämpöteho laskettiin liitteessä 8 ja arvoksi saatiin 754 kW, kun hallin lämpötila on 16,7 °C. Trane-lämpöpumppujen lämpöteho laskettiin myös hallin keskimääräisen lämpötilan mukaan kesäkaudella. Keskimääräinen lämpötila hallissa oli 26,4 °C. Tässä tapauksessa lämpöteho on 331 kW.

5.3.2 Trane-lämpöpumppujen lämpöteho talvella

Lämmöntarpeen määrittäminen talvikaudella aloitettiin samalla tavalla kuin kesäkaudella eli selvittämällä matalin lämpötila hallissa. Valvomo-ohjelmiston

mittaamista lämpötiloista selvisi, että talvikauden eli marras-helmikuun matalin lämpötila hallissa oli 12,1 °C. Se mitattiin 11.2.2017.

Talvikaudella tunneleiden tuloilman esilämmityksen molemmissa lämmönvaihdin kennoissa virtaa lämmin vesi, joten primääri- ja sekundäärilämmönvaihtimelle lasketaan tehot erikseen. Lisäksi täytyy laskea prosessitilojen lattialämmityksen lämmöntarve, sillä lattialämmitys on talvella päällä.

Primäärilämmönvaihtimen lämpötehon määrittämiseen tarvittavat arvot katsottiin valvomo-ohjelmistosta, kun hallin lämpötila oli viileimmillään 11.2.2017. Kyseisenä päivänä primäärilämmönvaihtimet eivät olleet käytössä. Normaalisti lämmönvaihtimien läpi virtaava vesi ohjattiin hallin tuloilman lämmitykseen.

Prosessitilojen lattialämmityksen oletetaan olevan talvikuukausina päällä, joten sen lämmöntarve laskettiin liitteessä 9 ja arvoksi saatiin 154 kW tai 309 kW, joka riippuu käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä.

Trane-lämpöpumppujen lämpöteho laskettiin liitteessä 10 ja arvoksi saatiin 1 433 kW, kun hallin lämpötila on 12,1 °C. Näin ollen lämpöpumppujen tuottama kokonaislämpöteho on 1 587 kW tai 1 742 kW, joka riippuu käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä.

Lämpöpumppujen lämpöteho laskettiin myös hallin keskimääräisen lämpötilan mukaan talvikaudella. Keskimääräinen lämpötila hallissa oli 22,8 °C. Tässä tapauksessa lämpöteho olisi 1 121 kW tai 1 276 kW, joka riippuu myös käynnissä olevien lämpöpumppujen määrästä.

5.4 Optimoinnin tulokset

Scancool-lämmityspiiri käyttää biokaasulaitoksen lämmittämiseen kesällä keskimäärin 109 kW. Trane-lämmityspiiri käyttää tunneleiden tuloilman esilämmitykseen kesällä keskimäärin 331 kW. Tarvittava yhteislämpöteho on 440 kW. Näin ollen Scancool-lämpöpumppu pystyisi tuottamaan tarvittavan lämpötehon kesäaikaan, jos lämmityspiirissä virtaisi 70 °C ja lämpöteho olisi 750 kW. Ainoastaan erittäin viileinä kesäpäivinä Scancoolin lämpöteho ei välttämättä

riitä, sillä pelkästään tunneleiden tuloilman esilämmitys vei kesällä 2017 suurimmillaan 753 kW eli ylitse Scancoolin lämpötehon.

Scancool-lämmityspiiri käyttää biokaasulaitoksen lämmittämiseen talvella keskimäärin 179 kW. Trane-lämmityspiiri käyttää tunneleiden tuloilman esilämmitykseen ja prosessitilojen lattialämmitykseen talvella keskimäärin 1 120 tai 1 275 kW. Tarvittava yhteislämpöteho on 1 299 kW tai 1454 kW. Näin ollen Scancool-lämpöpumppu ei pysty tuottamaan tarvittavaa lämpötehoa talviaikaan, sillä Scancoolin lämpöteho on selvästi pienempi. Talviaikaan lisääntynyt tehontarve johtuu tunneleiden tuloilman esilämmityksestä, sillä lämmönvaihtimiin virtaava ilma on viileämpää kuin kesällä ja ilma täytyy lämmittää korkeampaan lämpötilaan. Pelkästään yhden asteen muutos hallin lämpötilassa aiheuttaa lämpöpumpulle 43 kW tehon lisäyksen. Tämän seurauksena tunneleiden tuloilman esilämmitys vie talvikaudella noin kolme kertaa enemmän lämpötehoa kuin kesäkaudella.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä keskityttiin kahteen erilaiseen lämpöpumppuun, jotka toimivat biokaasulaitoksen lämmöntuotannossa. Lämpöpumpuille oli useita mittauksia, mutta mittauksien hyödyntäminen ja mittauksien kokoaminen olivat jääneet keskeneräiseksi.

Työssä saatiin kerättyä yleistietoa lämpöpumpuista sekä hieman eriteltyä Scancool- ja Trane-lämpöpumppujen toimintaa. Lämpöpumppujen perustietojen keräämisen lisäksi työn tilaajalle luotiin seurantajärjestelmän suunnitelma ja optimointilaskelma. Työn ohella selvitettiin ja tuotettiin muitakin hyödyllisiä dokumentteja kuin edellä mainitut. Työn tilaajalle luovutettiin esimerkiksi toimintaohje CSV-tietojen lukemiseen Excelissä, laskentakaavat vesi-vesi- ja ilma-vesilämmönvaihtimille. Myös lämmönvaihtimien virtausnopeuksien mittaukset osoittautuivat hyödyllisemmiksi kuin oli kuviteltu. Työn aikana ihmeteltiin, miksi lämmönvaihdin GR3 läpi virtaava ilma ei tavoita asetettua lämpötilaa, vaikka lämmönvaihtimen 3-tieventtiili on täysin auki. Mittaustulosten kokoamisen jälkeen sen huomattiin johtuvan erittäin suuresta tilavuusvirrasta, jolloin lämmönvaihtimen teho ei enää yksinkertaisesti riittänyt lämmittämään ilmaa. Ilmavirtauksen epäsäännöllistä jakautumista voitaisiin vähentää esi-

merkiksi asentamalla säädettäviä ilmapeltejä lämmönvaihtimien jälkeiseen ilmakehään.

Työn keskiössä oli seurantajärjestelmän suunnitelman luominen, sillä sen avulla pystytään tulevaisuudessa seuraamaan lämmöntuottajien- ja kulutuskohteiden toimintaa. Seurantajärjestelmään suunniteltujen tietojen määrä pidettiin vähäisenä, jotta sinne ei tulisi ylimääräistä dataa. Järjestelmää pystytään päivittämään käyttöönoton jälkeen, kun huomataan mitkä mittaukset tai laskelmat ovat tarpeellisia.

Työssä huomattiin, että optimointi ja raportointi tarvitsevat erilaisen lähestymistavan kuin mitä laitoksen päivittäinen prosessinvalvonta. Prosessinvalvonassa seurataan valvomo-ohjelmiston keräämää dataa trendeistä ja reaaliaikaisista mittauksista. Laitoksella olevasta perinteisestä valvomo-ohjelmistosta kerättyä dataa ei hyödynnetä eli sitä ei analysoida tai raportoida eteenpäin. Ratkaisuna olisi tiedon kerääminen valvomo-ohjelmistosta ja automaatiosta, josta ne siirrettäisiin seurantajärjestelmän suunnitelman mukaisesti tietokantaan ja tietokannan avulla suoritettaisiin raportointi sekä tulosten analysointi. Tämän avulla saataisiin näkyville pidempi aikaiset vaihtelut ja voitaisiin vertailla useampia tietoja samanaikaisesti.

Seurantajärjestelmän suunnitelman luominen perustui pitkälti kaavoihin ja mittauksiin. Tämän takia työssä oli haasteellista suunnitella toimiva kokonaisuus, koska täytyi huomioida useita muuttujia. Tästä oli hyvänä esimerkkinä tunnelien tuloilman esilämmityksen lämmönvaihtimen sekundääripuolen lämpöteho. Pelkän lämpötehon määrittämiseksi täytyi ensin selvittää jokaisen lämmönvaihtimen tilavuusvirta, selvittää valvomo-ohjelmiston mittauksien luotettavuus, mitata hygienisoinnin poistoilmakanavan tilavuusvirta ja laskea primääripuolen lämmönvaihtimen lämpöteho.

Työssä jouduttiin tekemään jonkin verran mittauksiin ja kokemukseen perustuvia oletuksia, sillä osa käytössä olleista mittauksista eivät pitäneet paikkansa tai mittauksia ei ollut ollenkaan. Tämä osaltaan heikentää seurantajärjestelmän luotettavuutta. Jos seurantajärjestelmästä halutaan luotettavampi, niin putkistoihin ja laitteisiin täytyisi asentaa useita uusia mittauksia. Esimerkiksi Trane-lämpöpumpuille olisi suotavaa asentaa omat sähkönkulutusmit-

taukset, jolloin lämpöpumpun lämpökertoimesta saataisiin luetettavampi arvo. Lisäksi, jos halutaan yksilöidä tunneleiden tuloilman esilämmityksen lämpötehot, olisi suositeltavaa asentuttaa virtausmittaukset jokaisen lämmönvaihtimen ilmakehään. Seurantajärjestelmän suunnitelma kuitenkin toteutettiin parhaalla mahdollisella tavalla saatavilla olevien tietojen perusteella. Seurantajärjestelmä tulee antamaan suuntaa kuinka paljon sähkönkulutus ja lämmön-
tarve muuttuvat vuodenaikojen mukaan.

Scancool-lämpöpumppua olisi suositeltavaa käyttää kesällä molempien lämmityspiirien lämmöntuotantoon, sillä lämpöpumppu on suunniteltu tuottamaan 70 °C vettä. Tämä on lämpöpumpulle määritetty toimintaympäristö, jossa se toimii kaikista tehokkaimmin. Koska toimintaolosuhteita on jouduttu muuttamaan, lämpöpumpun alkuperäisasetukset eivät enää päde (Scancool, 8). Jos Scancool-lämmityspiirin vesi nostetaan 70 °C, niin Trane-lämpöpumput voidaan ajaa kesäkaudeksi alas. Tällöin käytössä oleva Scancool-lämpöpumppu kävisi tasaisemmalla kuormalla ja lämpöpumpun kompressorien käyntijaksot todennäköisesti kasvaisivat, jolloin vältyttäisiin kompressorien ylimääräisiltä käynnistyskerroilta

Optimointia varten tehdyt Excel-tiedostot lämpöteholaskennasta luovutettiin työntilaaajalle. Tiedostojen avulla työn tilaaja pystyy itse laskemaan kuinka paljon erilaiset toimenpiteet vaikuttavat energiankulutukseen. Hallin lämpötilaan pystyy vaikuttamaan esimerkiksi nosto-ovien ylhäällä oloaika ajastamalla. Mitä nopeammin nosto-ovi tulee alas, sitä vähemmän sen kautta karkaa lämpöä ulos. Etenkin talviaikaan ilmiö korostuu, sillä nosto-oven auetessa kylmä ilmassa virtaa hallin alaosaan ja yläosan lämmin ilmassa virtaa ulos.

Työ ei varsinaisesti tuottanut valmistuessaan taloudellista hyötyä yritykselle. Taloudellisen hyödyn toivotaan tulevan tulevaisuudessa, kun nähdään lämmönkulutuskohteiden käyttäytyminen eri vuodenaikoina ja lämpöpumppujen toimintaa voidaan ohjata sen mukaan.

LÄHTEET

Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. E-kirja. Saatavissa:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527621705.app1/pdf> [viitattu 24.1.2018].

DOW s.a. Floormate 200 SL- XP. WWW-dokumentti. Saatavissa:

http://building.dow.com/europe/nl/prod/floormate_200slx.htm [viitattu 24.1.2018].

EISENMANN. 2013. 29_1_1g_FM1+2_plan_Grundriss+Details.

Rakennekuva.

Enerferm. 2018. Termofiilinen vs. mesofiilinen. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://enerferm.fi/teknologiat/termofiilinen/> [viitattu 26.2.2017].

Finlex. 2011. Rakennusten energiatehokkuus. PDF-dokumentti. Saatavissa:

http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf [viitattu 6.3.2018].

Harsia, P. 2009. Mitoituslämpötilat. WWW-dokumentti. Päivitetty 25.9.2009.

Saatavissa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1195454056021/1239039355586/1239040033371/1239040998736.html> [viitattu 24.1.2018].

Kilpeläinen, J s.a. Biokaasun jalostaminen. PowerPoint-dokumentti. Saatavissa:

<http://moodle2.karelia.fi/mod/resource/view.php?id=284554> [viitattu 13.10.2017].

LABIO Oy s.a. LABIO Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.labio.fi/yritysinfo/labio-oy/> [viitattu 26.2.2017].

LABIO Oy s.a. Laitokset. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.labio.fi/yritysinfo/laitokset/> [viitattu 26.2.2017].

Lonka, J. 2017. Valvomopäällikkö. Sähköpostikeskustelu 13.10.2017. Gasum Oy.

Motiva. 2017. Lämpöpumput. WWW-dokumentti. Päivitetty: 22.10.2017. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput [viitattu 5.9.2017].

Oilon Oy s.a. Oilon ChillHeat P 60 – P 450. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oilon.com/scancool/oilon-chillheat-p-150-p-450/> [viitattu 6.9.2017].

Puranen, M. 2017. Laitospäällikkö. Henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2017. LABIO Oy.

Puranen, M. 2018. Laitospäällikkö. Henkilökohtainen tiedonanto 22.1.2018. LABIO Oy.

Pyykkönen, V & Rasi, J. 2017. Biokaasulaitoksen hankinnassa ja tarjouspyynnöissä huomioitavia asioita. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--research-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/bika/julkaisut/bika_biokaasulaitoksen-hankinnassa-huomioitavat-asiat_nettiluonnos.pdf [viitattu 23.2.2018].

RAB GmbH. 2012. TB KKOY 31-12-20122013-1-16-13-49-25. Tekninen raportti.

Saimaa Gardens Services s.a. Lämpöpumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=70> [viitattu 6.9.2017].

Scancool. 2014. 1_operating instruction Installation _P150-P380_draft5 fin. Käyttöohje.

Sensorcell Oy s.a. testo 445- esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sensorcell.fi/WebRoot/vilkasfi02/Shops/2016080104/57CD/C0B8/E61A/04CB/3F0B/0A28/1010/C8F7/testo-445-esite.pdf> [viitattu 18.1.2018].

Thermtest. 2017. Introducing the rule of mixtures calculator. Blogi. Saatavissa: <https://thermtest.com/rule-of-mixtures-calculator> [viitattu 16.2.2018].

Thermia s.a. Kolme tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/> [viitattu 9.1.2018].

Trane. 2014. 1_Installation Operation instruction RTWD140HE fin. Käyttöohje.

Valtanen, E. 2013. Matemaattisia kaavoja ja taulukoita. 1. painos. Jyväskylä: Genesis- Kirjat Oy.

WinCC. 2017. Näyttökuva prosessinohjausjärjestelmästä LABIO Oy.

Prosessitilojen lattialämmityksen lämpötilat ja laskenta

Lämmönvaihtimen lämpötilat

Primääripuoli (Trane 55C)

Päivämäärä	Sisään	Ulos	Ero
14.1.2018	43	21	22
15.1.2018	45	22	23
15.1.2018	44	21	23
16.1.2018	47,5	21	26,5
16.1.2018	44	21	23
17.1.2018	48	22	26
18.1.2018	46	21	25
18.1.2018	47	21	26
18.1.2018	45	21	24
18.1.2018	41	21	20
19.1.2018	47	22	25
19.1.2018	47	22	25
20.1.2018	48	23	25
21.1.2018	48,5	23,5	25
22.1.2018	43,5	21,5	22
23.1.2018	47,5	20,5	27
24.1.2018	49	22	27
25.1.2018	45,5	20,5	25
29.1.2018	48,5	22	26,5
30.1.2018	45	22	23
31.1.2018	49,5	22,5	27
1.2.2018	49	23	26
KESKIARVO	46,3	21,7	24,6

Sekundääripuoli (Lattialämmitys)

Päivämäärä	Sisään	Ulos	Ero
25.1.2017	27	21	6
29.1.2018	28	23	5
30.1.2018	27	22,5	4,5
31.1.2018	30	22,5	7,5
1.2.2018	30	23	7
KESKIARVO	28,4	22,4	6,0

Päivämäärä	13.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittaustäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		16,7			-		-	
450 mm	-		-		-			15,2		-	
400 mm	12,3		9,3		16,8			15,3		4,9	
300 mm	12,2		9,8		17			15,5		5	
200 mm	12		9		17,2			15,6		5	
100 mm	11,8		10,3		14,2			14,9		3,9	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	12,1		9,6		16,4			15,3		4,7	
Tilavuusvirta (m3/h)	21839,3		17362,9		46289,9			35022,6		8500,6	
Suhde	16,9 %		13,5 %		35,9 %			27,1 %		6,6 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	140 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	129015 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	1300 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	3770 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	7 215 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	5 %										
Päivämäärä	14.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittaustäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		15,3			-		-	
450 mm	-		-		-			14,2		-	
400 mm	10,6		8,6		15,2			13,9		4,2	
300 mm	10,3		8,4		15,6			13,1		4	
200 mm	10,8		8,7		15,3			13,2		4,1	
100 mm	10,8		9,2		12,7			12,5		3,7	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	10,6		8,7		14,8			13,4		4,0	
Tilavuusvirta (m3/h)	19216,8		15780,4		41881,3			24199,6		7234,6	
Suhde	17,7 %		14,6 %		38,7 %			22,3 %		6,7 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	133 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	108313 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	2600 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	7540 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	17 147 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	13 %										
Päivämäärä	15.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittaustäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		15,2			-		-	
450 mm	-		-		-			7,5		-	
400 mm	1,9		7		15			7,5		6,3	
300 mm	1,8		6,6		14,8			7,5		6,4	
200 mm	1,8		6,7		15,1			7,6		6,1	
100 mm	1,8		7,5		12,1			7,1		6,2	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	1,8		7,0		14,4			7,4		6,3	
Tilavuusvirta (m3/h)	3300,8		12570,0		40807,4			17030,6		11304,0	
Suhde	3,9 %		14,8 %		48,0 %			20,0 %		13,3 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	116 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	85013 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	3000 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	8700 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	22 287 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	19 %										

Päivämäärä	17.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	OFF
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		15,9			-		-	
450 mm	-		-		-			11,9		-	
400 mm	11,1		8,6		16			11,6		6,6	
300 mm	11,3		8,7		15,5			11,5		6,7	
200 mm	11,1		8,5		16,1			11,6		6,7	
100 mm	11,1		9		12			10,9		6,5	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	11,2		8,7		15,1			11,5		6,6	
Tilavuusvirta (m3/h)	20166,3		15735,2		42672,6			26324,2		11982,2	
Suhde	17,3 %		13,5 %		36,5 %			22,5 %		10,3 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	130 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	116881 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	1000 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	2900 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	10 219 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	8 %										
Päivämäärä	17.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		16,4			-		-	
450 mm	-		-		-			8,6		-	
400 mm	5,7		7,2		16,6			8,7		6,5	
300 mm	5,7		7		17			8,9		6,6	
200 mm	5,6		7,5		16,8			8,9		6,3	
100 mm	5,4		7,7		14			8,6		6,1	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	5,6		7,35		16,16			8,74		6,4	
Tilavuusvirta (m3/h)	10128,4		13293,5		45668,16			20006,4		11530,1	
Suhde	10,1 %		13,2 %		45,4 %			19,9 %		11,5 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	125 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	100627 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	1500 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	4350 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	20 023 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	16 %										
Päivämäärä	18.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		17			-		-	
450 mm	-		-		-			13,3		-	
400 mm	11,5		11,6		17,3			12,8		6,6	
300 mm	11,9		11,7		17,6			13,3		6,7	
200 mm	11,4		11,7		17,4			13,6		6,5	
100 mm	11,2		11,7		13,7			13,3		6,3	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	11,5		11,675		16,6			13,26		6,5	
Tilavuusvirta (m3/h)	20799,4		21115,9		46911,6			30352,9		11801,4	
Suhde	15,9 %		16,1 %		35,8 %			23,2 %		9,0 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	135 000 m3/h										
Mittattu virtausmäärä	130981 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	300 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	870 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	3 149 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	2 %										

Päivämäärä	19.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		17,1			-		-	
450 mm	-		-		-			15,1		-	
400 mm	7,5		11,2		17,3			15		7	
300 mm	7,3		10,8		17,8			14,8		7,1	
200 mm	7,1		10,5		17,4			15		7	
100 mm	7		10,8		15,2			14,6		6,8	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	7,2		10,825		16,96			14,9		7,0	
Tilavuusvirta (m3/h)	13067,4		19578,5		47928,96			34107,0		12615,3	
Suhde	10,3 %		15,4 %		37,7 %			26,8 %		9,9 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	136 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	127297 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	500 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	1450 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	7 253 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	5 %										
Päivämäärä	20.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		16,8			-		-	
450 mm	-		-		-			13		-	
400 mm	10,9		11,6		17,1			12,5		6,5	
300 mm	11,4		11,8		17,4			12,9		6,6	
200 mm	11,6		11,5		16,9			13,3		6,4	
100 mm	11		11,7		14,9			12,9		6,3	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	11,2		11,65		16,62			12,92		6,5	
Tilavuusvirta (m3/h)	20302,0		21070,7		46968,12			29574,7		11665,7	
Suhde	15,7 %		16,3 %		36,2 %			22,8 %		9,0 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	140 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	129581 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	4500 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	13050 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	-2 631 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	0 %										
Päivämäärä	21.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		16,5			-		-	
450 mm	-		-		-			8,7		-	
400 mm	10,8		10,7		17			8,6		6	
300 mm	10,5		10,7		17,1			8,6		6,1	
200 mm	10,4		10,8		17			8,7		6,2	
100 mm	10		10,8		13,8			8,5		6	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	10,4		10,75		16,28			8,62		6,1	
Tilavuusvirta (m3/h)	18855,1		19442,9		46007,28			19731,7		10987,5	
Suhde	16,4 %		16,9 %		40,0 %			17,2 %		9,6 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	133 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	115024 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	5100 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	14790 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	3 186 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	2 %										

Päivämäärä	22.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		15,8			-		-	
450 mm	-		-		-			4,2		-	
400 mm	7,5		8,7		16,2			4,2		5,8	
300 mm	7,8		8,9		16,3			4,3		6	
200 mm	7,9		9		16,1			4,2		5,9	
100 mm	7,7		9,1		14			4,2		5,7	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	7,7		8,925		15,68			4,22		5,9	
Tilavuusvirta (m3/h)	13971,7		16142,1		44311,68			9659,8		10580,5	
Suhde	14,8 %		17,1 %		46,8 %			10,2 %		11,2 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	125 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	94666 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	4500 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	13050 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	17 284 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	14 %										
Päivämäärä	23.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		15,9			-		-	
450 mm	-		-		-			6,6		-	
400 mm	7,5		9,3		16,3			6,7		0,5	
300 mm	7,7		9,3		16,6			6,5		0,5	
200 mm	7,7		9,4		16,6			6,4		0,5	
100 mm	7,2		9,9		13,5			6,2		0,5	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	7,5		9,475		15,78			6,48		0,5	
Tilavuusvirta (m3/h)	13610,0		17136,9		44594,28			14833,1		904,3	
Suhde	14,9 %		18,8 %		49,0 %			16,3 %		1,0 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	115 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	91079 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	4200 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	12180 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	11 741 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	10 %										
Päivämäärä	24.1.2018										
	Lämmönvaihdin GR5		Lämmönvaihdin GR4		Lämmönvaihdin GR3			Lämmönvaihdin GR2		Lämmönvaihdin GR1	
Tunnelit	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	B3	B2	B1
ON/OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
Mittausetäisyys	Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s			Ilmavirtaus m/s		Ilmavirtaus m/s	
500 mm	-		-		16			-		-	
450 mm	-		-		-			8,6		-	
400 mm	10,7		8,6		16,1			8,4		6,6	
300 mm	10,7		8,5		16,7			8,4		6,7	
200 mm	10,4		8,1		16,4			8,3		6,5	
100 mm	10		8,3		15			8,2		6,4	
Ilmavirtauksen keskiarvo (m/s)	10,5		8,375		16,04			8,38		6,6	
Tilavuusvirta (m3/h)	18900,3		15147,4		45329,04			19182,3		11846,6	
Suhde	17,1 %		13,7 %		41,1 %			17,4 %		10,7 %	
Poistoilmakanavan virtausmäärä	130 000 m3/h										
Mitattu virtausmäärä	110406 m3/h										
Hygienisointi virtausmäärä	3500 m3/h										
Korjattu virtausmäärä	10150 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	9 444 m3/h										
Mittausvirhe/ vuodot	7 %										

Hygienisoinnin poistoilmakanavan virtausnopeuden mittaukset

Putki	DN560								
Halkaisija	560	mm							
Ala	0,246	m ²							
Päivämäärä	24.1.2018	25.1.2018	29.1.2018	30.1.2018	31.1.2018	1.2.2018	KESKIARVO		
<u>Mittausepäisyys</u>									
280mm	11,5	11,5	10,1	8,9	9,1	10	10,2	m/s	
200mm	11,4	11,7	10,2	9	9,4	10,3	10,3	m/s	
100mm	12,5	11,9	10,3	9,3	9,2	10,2	10,6	m/s	
	11,8	11,7	10,2	9,1	9,2	10,2	10,4	m/s	
Hygienisoinnin tilavuusvirta valvomo	4200	3550	3000	2800	2700	2900	3191,7	m ³ /h	
Mitattu tilavuusvirta	10458	10369	9040	8035	8183	9010	9182	m ³ /h	
Kerroin	2,5	2,9	3,0	2,9	3,0	3,1	2,9		

CSV-toimintaohje

.CSV- tiedoston tekeminen valvomo-ohjelmistolla

- Avaa haluttu trendi
- Ota asetukset auki "Assigning Parameters"
- "Toolbar"- kohdasta valitse aktiiviseksi "Select statistics area", "Calculate statistics" ja "Save report"
- Paina "Apply" ja "OK"
- Valitse yläpalkin kellonkuvasta "Select time range" aikaväli, josta haluat trendin
- Paina yläpalkista "Select statistics area". Toiminto rajaa tallennettavan alueen
- Paina yläpalkista "Calculate statistics". Toiminto lataa alueen arvot
- Paina yläpalkista "Save report". Toiminto tallentaa raportin .CSV- tiedostoksi

Tallennuspaikka valvomon pääkoneella:

C:\Program files\Siemens\WinCC\WinCCProjects\KKOyWinCC\Export\TagLogging

.CSV- tiedoston muuttaminen Excel kelpoiseksi

- Avaa tyhjä Excel- työkirja
- Valitse taulukko alue, mistä tiedot otetaan (Pikanäppäin ctrl + Shift + nuolinäppäimet)
- Valitse yläpalkista "Tiedot"- kohdasta komento "Tekstistä tai CSV:stä"
- Ohjelma pyytää etsimään .CSV- tiedoston, joka olet ladannut valvomon prosessikoneelta
- Vaihdat erottimen "Puolipisteestä" "Mukautetuksi"
- Paina "Lataa" ja Excel lataa .CSV- tiedoston arvot taulukkoon
- Arvot täytyy erottaa toisistaan
- Valitse yläpalkista "Tiedot"- kohdasta komento "Teksti sarakkeisiin"
- Ensimmäisestä kohdasta valitaan komento "Erotettu" ja painetaan "Seuraava"
- Seuraavassa kohdassa tarkastetaan, että erottimeksi on valittu "Puolipiste" ja painetaan "Seuraava"
- Määritetään kaikkien sarakkeiden tietojen muodot (Yleinen= numerot)
- Lopuksi painetaan "Valmis"

Reaktoreiden seinien johtumishäviön laskenta

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella

Päivämäärä 23.2.18

KESÄ

Reaktorin mitat

Korkeus 8 m
Leveys 6,45 m
Pituus 24 m

Eristeet	λ (W/m*K)	l (m)	R (m ² *K/W)	U (W/m ² *K)
Ulkoreunat				
7cm pintavalu betoni	2	0,07	0,04	0,23
12cm styrodur DOW 200	0,029	0,12	4,14	
36cm kovabetoni	2	0,36	0,18	
Katto				
25cm kovabetoni	2	0,25	0,13	0,23
12cm styrodur DOW 200	0,029	0,12	4,14	
Lattia				
40cm kovabetoni	2	0,4	0,20	0,26
12cm styrodur (eriste)	0,035	0,12	3,43	
40cm kovabetoni	2	0,4	0,20	
Väliseinät				
40cm kovabetoni	ei tuomioida, sillä seinän molemmilla puolilla on yhtä suuri lämpötila			

Ulkopinta-ala

4xkatto 619 m²
2x sivuseinä 384 m²

1003 m²

Sisätilan pinta-ala

8x päätyseinät 413 m²
2x sivuseinä 384 m²

797 m²

Lattian pinta-ala

4x lattia 619 m²

Ukolämpötila kesä 32 °C
Ukolämpötila kesä 2,3 °C
Hallin lämpötila 20 °C
Reaktorin sisälämpötila 42 °C
Lattian mitoituslämpötila 6,6 °C
Lämpötilaero ulko kesä 10 °C
Lämpötilaero ulko kesä 2 39,7 °C
Lämpötilaero sisäseinä 22 °C
Lämpötilaero lattia 35,4 °C

Ulkopintojen lämpöhäviö ohtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus katto 4,26 m²*K/W
Eristekerroksen lämmönvastus ulkoseinät 4,35 m²*K/W
Lämpöhäviö katto kesä 1452,5 W
Lämpöhäviö seinä kesä 882,2 W
Lämpöhäviö kesä 2334,7 W

2,3 kW
Lämpöhäviö katto kesä max 5766,5 W
Lämpöhäviö seinä kesä max 3502,2 W
Lämpöhäviö kesä max yhteensä 9268,7 W

9,3 kW

Sisäpintojen lämpöhäviö ohtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus yht. 4,35 m²*K/W
Lämpöhäviö kesä 4027,1 W

4,0 kW

Lattian lämpöhäviö ohtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus yht. 3,83 m²*K/W
Lämpöhäviö kesä 5725,3 W

5,7 kW

Johtumishäviö kesä 19,0 kW

12,1 kW
19,0 kW

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella

Päivämäärä 23.2.18

TALVI

Reaktorin mitat

Korkeus 8 m
 Leveys 6,45 m
 Pituus 24 m

Eristeet	λ (W/m*K)	l (m)	R (m ² *K/W)	U (W/m ² *K)
Ulkoreunat				
7cm pintavalu betoni	2	0,07	0,04	0,23
12cm Styrodur DOW200	0,029	0,12	4,14	
36cm kovabetoni	2	0,36	0,18	
Katto				
25cm kovabetoni	2	0,25	0,13	0,23
12cm Styrodur DOW200	0,029	0,12	4,14	
Lattia				
40cm kovabetoni	2	0,4	0,20	0,26
12cm Styrodur (eriste)	0,035	0,12	3,43	
40cm kovabetoni	2	0,4	0,20	
Väliseinät				
40cm kovabetoni	ei huomioida, sillä seinän molemmilla puolilla on yhtä suuri lämpötila			

Ulkopinta-ala

4 katto 619 m²
 2 väliseinää 384 m²

 1003 m²

Sisätilapinta-ala

8 päätyseinät 413 m²
 2 väliseinää 384 m²

 797 m²

Lattiapinta-ala

4 lattia 619 m²

Ulkolämpötila talvi 8,8 °C
 Ulkolämpötila talvi -25 °C
 Hallin lämpötila 20 °C
 Reaktorin sisälämpötila 42 °C
 Lattian mitoituslämpötila 6,6 °C
 Lämpötilaero talvi 33,2 °C
 Lämpötilaero talvi 67 °C
 Lämpötilaero väliseinä 22 °C
 Lämpötilaero lattia 35,4 °C

Ulkopintojen lämpöhäviö johtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus katto 4,26 m²*K/W
 Eristekerroksen lämmönvastus ulkoseinät 4,35 m²*K/W
 Lämpöhäviö katto talvi 4822,4 W
 Lämpöhäviö seinät talvi 2928,8 W
 Lämpöhäviö talvi yhteensä 7751,2 W

 7,8 kW
 Lämpöhäviö katto talvi max 9731,9 W
 Lämpöhäviö seinät talvi max 5910,5 W
 Lämpöhäviö talvi max yhteensä 15642,4 W

 15,6 kW

Sisäpintojen lämpöhäviö johtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus yht. 4,35 m²*K/W
 Lämpöhäviö talvi min ja max 4027,1 W

 4,0 kW

Lattian lämpöhäviö johtumisesta

Eristekerroksen lämmönvastus yht. 3,83 m²*K/W
 Lämpöhäviö talvi min ja max 5725,3 W

 5,7 kW

Johtumishäviö talvi 17,5 kW
 Johtumishäviö talvi max 25,4 kW

Syötteen lämmityksen laskenta

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella		
Päivämäärä	23.2.2018	KESÄ
Syötetty määrä	56000 kg/vrk	
	120000 kg/vrk	
Ominaislämpökapasiteetti	4,182 kJ/kg°C	
Lämpötila reaktorin sisällä	42 °C	
Syötteen lämpötila	20 °C	
Lämpötilaero	22,0 °C	
Syötteen tarvitsema lämpöenergia, kun syöttö	56000 kg/vrk	
Lämpöenergia	5152224 kJ/vrk	
Lämpöenergia	1431,2 kWh/vrk	
Keskimääräinen teho kesä	59,6 kW	
Syötteen tarvitsema lämpöenergia, kun syöttö	120000 kg/vrk	
Lämpöenergia	11040480 kJ/vrk	
Lämpöenergia	3066,8 kWh/vrk	
Keskimääräinen teho kesä	127,8 kW	

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella		
Päivämäärä	23.2.2018	TALVI
Syötetty määrä	56000 kg/vrk	
	120000 kg/vrk	
Ominaislämpökapasiteetti	4,182 kJ/kg°C	
Lämpötila reaktorin sisällä	42 °C	
Syötteen lämpötila	5 °C	
Lämpötilaero	37,0 °C	
Syötteen tarvitsema lämpöenergia, kun syöttö	56000 kg/vrk	
Lämpöenergia	8665104 kJ/vrk	
Lämpöenergia	2407,0 kWh/vrk	
Keskimääräinen teho talvi	100,3 kW	
Syötteen tarvitsema lämpöenergia, kun syöttö	120000 kg/vrk	
Lämpöenergia	18568080 kJ/vrk	
Lämpöenergia	5157,8 kWh/vrk	
Keskimääräinen teho talvi	214,9 kW	

Trane-lämpöpumppujen lämpöteho (kesä)

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella		
Päivämäärä	23.2.2018	
Poistoilmakanavan tilavuusvirta	150000	m ³ /h
Lukema valvomo-ohjelmistosta	5000	m ³ /h
Hygienisoinnin tilavuusvirta (kerroin 2,9)	14500	m ³ /h
Vuotoilmat 4%	6000	m ³ /h
Lämmönvaihtimien tilavuusvirta	129500	m ³ /h
Lämpötila hallissa	16,7	°C
Lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen kesäkausi	34	
Lämmönvaihdin GR 1 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,093	
Tilavuusvirta	12043,5	m ³ /h
Tiheys	1,205	kg/m ³
Massavirta	4,031	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	16,7	°C
Lämpötila jälkeen LV	34	°C
Lämpötilaero	17,3	°C
Lämmönvaihtimen teho	70,089	kW
Lämmönvaihdin GR 2 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,215	
Tilavuusvirta	27842,5	m ³ /h
Tiheys	1,205	kg/m ³
Massavirta	9,320	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	16,7	°C
Lämpötila jälkeen LV	34	°C
Lämpötilaero	17,3	°C
Lämmönvaihtimen teho	162,034	kW
Lämmönvaihdin GR 3 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,395	
Tilavuusvirta	51152,5	m ³ /h
Tiheys	1,205	kg/m ³
Massavirta	17,122	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	16,7	°C
Lämpötila jälkeen LV	34	°C
Lämpötilaero	17,3	°C
Lämmönvaihtimen teho	297,690	kW
Lämmönvaihdin GR 4 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,149	
Tilavuusvirta	19295,5	m ³ /h
Tiheys	1,205	kg/m ³
Massavirta	6,459	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	16,7	°C
Lämpötila jälkeen LV	34	°C
Lämpötilaero	17,3	°C
Lämmönvaihtimen teho	112,293	kW
Lämmönvaihdin GR 5 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,148	
Tilavuusvirta	19166	m ³ /h
Tiheys	1,205	kg/m ³
Massavirta	6,415	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	16,7	°C
Lämpötila jälkeen LV	34	°C
Lämpötilaero	17,3	°C
Lämmönvaihtimen teho	111,539	kW
Lämmönvaihtimien yhteenlaskettu teho	753,644	kW

Prosessitilojen lattialämmitys lämpöteho (talvi)

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella		
Päivämäärä	23.2.2018	
Prosessitilojen lämmönvaihdin primääripuoli		
Ominaislämpökapasiteetti	4,182	kJ/kg°C
Lämpötilaero	24,6	°C
Veden tilavuusvirta 1 pumppu	5,4	m ³ /h
Veden tilavuusvirta 2 pumppua	10,8	m ³ /h
Veden massavirta 1	1,5	kg/s
Veden massavirta 2	3,0	kg/s
Lämmönvaihdin lämpöteho 1 pumppu päällä	154,3	kW
Lämmönvaihdin lämpöteho 2 pumppua päällä	308,6	kW

Trane-lämpöpumppujen lämpöteho (talvi)

Täytettävät kohdat merkitty keltaisella		
Päivämäärä	31.1.2018	
Poistoilmakanavan tilavuusvirta	150000	m3/h
Lukema valvomo-ohjelmistosta	5000	m3/h
Hygienisoinnin tilavuusvirta (kerroin 2,9)	14500	m3/h
Vuotoilmat 4%	6000	m3/h
Lämmönvaihtimien tilavuusvirta	129500	m3/h
Lämpötila hallissa	12,1	°C
Lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen talvikausi	45	°C
Lämmönvaihdin GR 1 lämpöteho		
Painotettu kerroin	0,093	
Tilavuusvirta	12043,5	m3/h
Tiheys	1,205	kg/m3
Massavirta	4,031	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	12,1	°C
Lämpötila jälkeen LV	45	°C
Lämpötilaero	32,9	°C
Lämmönvaihtimen teho	133,291	kW
Lämmönvaihdin GR 2 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,215	
Tilavuusvirta	27842,5	m3/h
Tiheys	1,205	kg/m3
Massavirta	9,320	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	12,1	°C
Lämpötila jälkeen LV	45	°C
Lämpötilaero	32,9	°C
Lämmönvaihtimen teho	308,145	kW
Lämmönvaihdin GR 3 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,395	
Tilavuusvirta	51152,5	m3/h
Tiheys	1,205	kg/m3
Massavirta	17,122	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	12,1	°C
Lämpötila jälkeen LV	45	°C
Lämpötilaero	32,9	°C
Lämmönvaihtimen teho	566,126	kW
Lämmönvaihdin GR 4 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,149	
Tilavuusvirta	19295,5	m3/h
Tiheys	1,205	kg/m3
Massavirta	6,459	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	12,1	°C
Lämpötila jälkeen LV	45	°C
Lämpötilaero	32,9	°C
Lämmönvaihtimen teho	213,551	kW
Lämmönvaihdin GR 5 ilmanvirtaus		
Painotettu kerroin	0,148	
Tilavuusvirta	19166	m3/h
Tiheys	1,205	kg/m3
Massavirta	6,415	kg/s
Ominaislämpökapasiteetti	1,005	kJ/kg°C
Lämpötila ennen LV	12,1	°C
Lämpötila jälkeen LV	45	°C
Lämpötilaero	32,9	°C
Lämmönvaihtimen teho	212,118	kW
Lämmönvaihtimen teho yhteensä	1433,231	kW