

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TIMO OEHLANDT

Lisäveden lämmitykseen liittyvän ongelman selvitys

Harjavallan 30 MW puupellettilaitos

ENERGIA JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Oehlandt, Timo: Lisäveden lämmitykseen liittyvän ongelman selvitys, Harjavallan 30 MW puupellettilaitos
Opinnäytetyö, AMK
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka
Toukokuu 2024
Sivumäärä: 47

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Harjavallan 30 MW:n puupellettilaitoksessa lisäveden lämmitykseen liittyvää ongelmaa, joka johtuu lisäveden alhaisesta lämpötilasta. Alhainen lisäveden lämpötila ja kuuman höyrylauhteen sekoittuminen syöttövesisäiliössä aiheuttavat syöttövesisäiliön höyrytornin levyjen rikkoutumisen, mikä on johtanut huoltokustannusten nousuun. Vuoden 2022 alkupuolella tilanne on pahentunut, sillä yhteistyökumppanin toimittama höyrylauhteen määrä on vähentynyt ja muuttunut epäsäännöllisemmäksi.

Opinnäytetyössä keskityttiin lämmönsiirrinjärjestelmän toimintaperiaatteisiin ja teoriaan. Tutkimus alkoi lämpötila- ja virtausmittauksilla, joilla pyrittiin selvittämään lisäveden lämmitykseen liittyvän ongelman syitä. Mittaustulokset analysoitiin, ja niiden pohjalta suunniteltiin ratkaisumalli, jossa mitoitettiin järjestelmään uusi lämmönsiirrin vanhan rinnalle. Uuden lämmönsiirtimen avulla on tarkoitus korjata lisäveden lämmitysongelma ja nostaa lisäveden lämpötila halutulle tasolle. Asennus toteutetaan laitoksen seuraavan revision yhteydessä.

Ratkaisumalli sisältää uuden vastavirtalämmönsiirtimen, joka hyödyntää laitoksessa syntyvää höyryä. Lämmönsiirtimen asennuksen myötä odotetaan, että laitoksen käyttökustannukset alenevat, sillä uusi järjestelmä mahdollistaa tehokkaamman lisäveden lämmityksen ja pienentää huoltotarvetta.

Avainsanat: lisäveden lämmitys, lämmönsiirrin, puupellettilaitos, Harjavalta, energiatehokkuus.

ABSTRACT

Oehlandt, Timo: A problem related to the heating of additional water, Harjavalta 30 MW wood pellet plant

Bachelor's thesis

Energy and environmental engineering

May 2024

Number of pages: 47

In the Harjavalta 30 MW wood pellet plant, a problem related to the heating of additional water was investigated, which stems from the low temperature of the additional water. The mixing of cold additional water and hot steam condensate in the feedwater tank causes damage to the plates of the steam tower in the feedwater tank, which leads to increased maintenance costs. At the start of 2022, the situation has worsened as the amount of steam condensate supplied by a partner has decreased and has become more irregular.

The thesis focused on the operating principles and theory of the heat exchanger system. The research began with temperature and flow measurements aimed at identifying the causes of the problem. The results were analyzed, and based on them, a solution model, where a new heat exchanger was dimensioned into the system alongside the old one. The new heat exchanger is intended to fix the problem with additional water heating and raise the temperature of the additional water to the desired level. The installation will be implemented during the plant's next revision.

The solution model includes a new counterflow heat exchanger, that utilizes the steam generated in the plant. With the installation of the heat exchanger, a reduction in the plant's operating costs is to be expected, as the new system allows more efficient heating of the additional water and reduces maintenance needs.

Keywords: additional water heating, heat exchanger, wood pellet plant, Harjavalta, energy efficiency.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Suomen Teollisuuden Energiapalvelut (STEP) Oy:n ja Satakunnan ammattikorkeakoulun (SAMK) kanssa.

Suuntaan kiitokseni ensimmäisenä STEP Oy:lle, jonka asiantuntevassa ympäristössä olen saanut työskennellä. Haluan kiittää erityisesti esimiestäni Elisa Lehtikangasta, jonka johdolla sain syventää asiantuntemustani ja ymmärrystäni alasta. Elisan ammattitaito, kannustus ja neuvot ovat olleet korvaamattomia tässä prosessissa. Kiitokset myös auttavalle ja asiantuntevalle STEP:n henkilöstölle, joilta sain apua ja neuvoa aina tarvittaessa.

Suuri kiitos kuuluu myös opinnäytetyöni ohjaajalle, Petri Lähteelle, jonka ohjaus ja asiantuntijuus ovat olleet tärkeässä roolissa työni onnistumisessa.

Lopuksi haluan kiittää Alisa Salmivallia ja opiskelukavereitani, jotka ovat tukenet minua henkisesti ja antaneet inspiraatiota pyrkiä eteenpäin opintielläni.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 STEP OY	7
2.1 Veolia	7
2.2 Pori Energia.....	8
3 HARJAVALLAN 30 MW LAITOS	9
3.1 Laitoksen toiminta	9
3.2 Lisäveden lämmönsiirrin	11
3.3 Levylämmönsiirrin	13
4 LÄMMÖNSIIRRON TEORIA	15
4.1 Lämmönsiirtomekanismit.....	15
4.1.1 Johtuminen	15
4.1.2 Konvektio.....	16
4.1.3 Säteily.....	17
4.2 Lämmönsiirtimen teoreettinen mitoitus NTU-menetelmällä.....	17
4.3 Rekuperatiivinen lämmönsiirrin	18
5 MITTAUKSET	20
5.1 Mittauslaitteisto.....	20
5.2 General Electric TransPort PT 900.....	20
5.3 Infrapunalämpömittari Fluke 62 MAX	21
5.4 Mittausten toteutus	22
5.5 Lämpötilamittaukset.....	22
5.6 Virtausmittaukset.....	22
6 TULOKSET MITTAUKSISTA JA LASKEMINEN	26
6.1 Tulokset mittauksista	26
6.2 Laskelmat	28
7 TOIMENPITEET	30
7.1 Uusi lämmönsiirrin.....	31
8 YHTEENVETO.....	33
LÄHTEET.....	34
LIITEET	35

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Suomen Teollisuuden Energiapalveluiden (STEP Oy) Harjavallan 30 MW:n polttolaitoksen lisäveden lämmitykseen liittyvää ongelmaa. Syöttövesisäiliöön syötettävän lisäveden alhainen lämpötila johtaa syöttövesisäiliön höyrytornin levyjen rikkoutumiseen ja täten kohonneisiin huoltokustannuksiin. Lämmönsiirrin, jonka pitäisi lämmittää lisävesi tavoitelämpötilaan ei toimi oletetulla tavalla. Lisäveden lämmitykseen liittyvät ongelmat ovat pahentuneet vuoden 2022 alun jälkeen, sillä yhteistyökumppanin toimittaman höyrylauhteen määrä on vähentynyt ja toimitukset ovat muuttuneet aiempaa epäsäännöllisemmiksi.

Opinnäytetyö käsittelee lämmönsiirtimeen toimintaa ja lämmönsiirron perusteita, sekä lämmönsiirtimeen mitoituksen teoriaa. Lämmönsiirtimeen mitoitus on nykypäivänä rutiininomaista suunnittelutyönä, mutta sillä on suuri merkitys prosessin toimivuuden kannalta.

Tämä opinnäytetyö aloitettiin ongelman kartoittamisella lämpötila- ja virtausmittauksien avulla. Tulokset analysoitiin ja ongelmaan suunniteltiin ratkaisumalli. Ratkaisumallin kriteerinä oli laitoksen hyötysuhteen pysyminen nykyisellä tasolla tai pieni parantuminen. Suunnitellun ratkaisumallin avulla lisäveden lämmitykseen liittyvä ongelma on tarkoitus korjata laitoksen seuraavan revision yhteydessä.

2 STEP OY

Suomen Teollisuuden Energiapalvelut Oy on vuonna 2008 Veolian (entiseltä nimeltään Dalkia) ja Pori energian yhteistyössä perustama yritys. Veolia on yhtiön enemmistöosakas 51 % osuudella. STEP Oy tarjoaa kestäviä energia-ratkaisuja teollisuudelle ja tuottaa energiaa useissa muodoissa asiakkailleen Harjavallan teollisuusalueella. STEP Oy tarjoaa esimerkiksi lämpöenergiaa, paineilmaa, prosessivettä ja erilaisia polttoaineita. Kokonaisuudessaan STEP Oy myy energiaa eri muodoissa yli 600 GWh teollisuusprosesseihin (STEP Oy, 2020). STEP Oy työllistää Suomessa n. 75 henkilöä, joista 26 työskentelee Harjavallan suurteollisuuspuistossa. Lisäksi STEP Oy:lla on vesiliiketoimintaa Kaanaassa ja sen pääkonttori sijaitsee Porissa. Osakeyhtiön liikevaihto oli vuonna 2022 n. 60 milj. euroa. Yhtiön toimitusjohtaja toimii Antti Juhani Kokko (Suomen Asiakastieto Oy, 2024).

2.1 Veolia

Veolia on kansainvälinen suuryritys, jonka juuret johtavat Ranskaan. Yritys on aloittanut toimintansa jo 1853, mutta Veolia nimi otettiin käyttöön vasta 2003. Yhtiö on keskittynyt koko historiansa aikana valmistamaan hyödyllisiä käytännön ratkaisuja vesien, jätteiden ja energian hallintaan. Yhtiön periaatteena on luoda kestävää arvoa resursseja vapauttamalla, energiaa talteen ottamalla ja luomalla uudelleenkierätylle resurssille uusia käyttöalueita (Veolia, 2024).

Veolia työllistää 220000 ihmistä ympäri maailman, toimii viidellä eri mantereella ja yhtiön liikevaihto vuonna 2022 oli 42,9 miljardia. Suomessa Veolia Oy henkilöstön määrä on 130 henkilöä. Veolia Service Finland toimii Suomessa usealla paikkakunnalla: Helsingissä, Kilpilahdessa ja Äänekoskella. Yhtiö tarjoaa energia- ja vesiratkaisujen lisäksi myös teollisuuden tukipalveluita. Yhtiön päätoimialue on suurteollisuudessa, mutta yhteistyötoimintaa on myös kuntien kanssa muun muassa hukkalämpöjen hyödyntämisessä (Veolia, 2024).

2.2 Pori Energia

Pori Energia on perinteikäs suomalainen energia-alan yritys, jonka historia alkoi vuonna 1898, kun kaupunkiin perustettiin ensimmäinen sähkölaitos. Valaistuksen asentaminen kaduille oli yksi merkittävimmistä tapahtumista tuona aikana, sillä edisti kaupungin kehitystä (Pori energia, 2024).

Vuonna 1969 Pori Energia aloitti kaukolämmön jakelun Porissa. Ensimmäinen asiakas oli Porin teatteritalo. Tämä oli merkittävä askel energian tuotannossa, sillä kaukolämpö mahdollisti energian jakamisen laajemmalle alueelle ja vähensi näin riippuvuutta muista energialähteistä (Pori energia, 2024).

Nykyään Pori Energia on vakiinnuttanut asemansa Porin alueella ja yli 50 % porilaisista asuu kaukolämmöllä lämmitetyissä taloissa. Yrityksen päätoimialoina ovat energiapalvelut ja energian tuotanto, joita se täydentää sähkö- ja automaatiotekniikan asennuspalveluilla. Toimitusjohtajana toimii Petri Paa-janen, joka on vastuussa yrityksen strategiasta ja tavoitteiden saavuttamisesta.

Vuonna 2022 Pori Energialla oli 132 työntekijää. Liikevaihto kasvoi merkittävästi vuosien 2021 ja 2022 välillä. Vuonna 2021 liikevaihto oli 99,1 milj. € ja vuoden 2022 aikana se kasvoi 109,6 milj. €:iin, mikä merkitsi 11 prosentin kasvua (Asiakastieto, 2024).

3 HARJAVALLAN 30 MW LAITOS

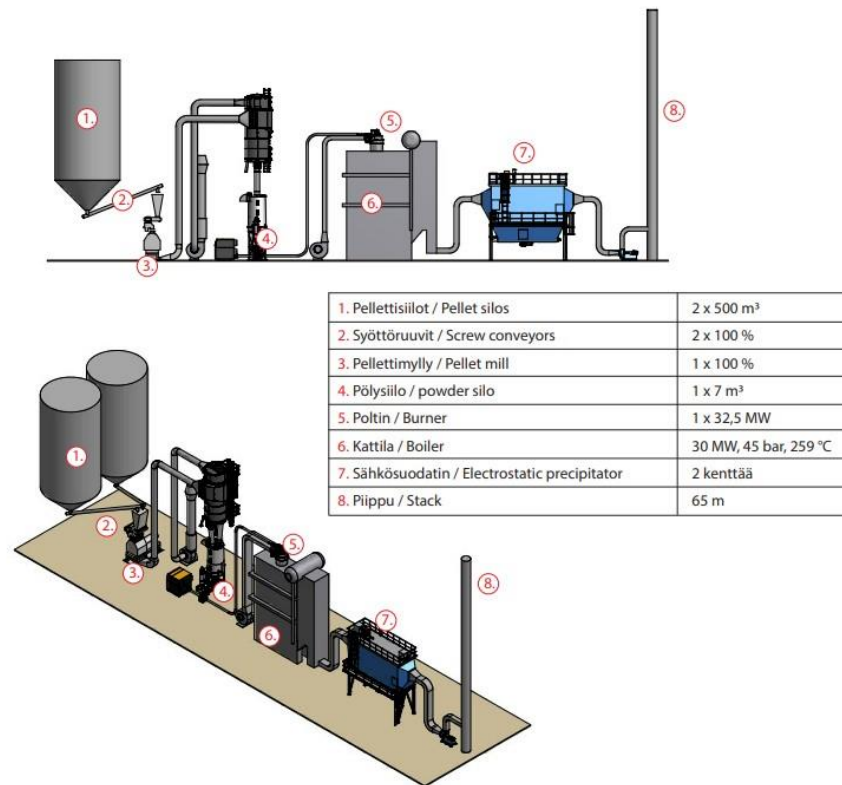
Vuonna 2016 valmistunut Harjavallan 30 MW:n puupellettilaitos tuottaa asiakkaalle 220000 MWh höyryä vuodessa. Laitoksen varapolttoaineena toimii nesteytetty maakaasu. Puupellettilaitoksen katolla sijaitsee myös 45 paneelin aurinkovoimala, jolla tuotetaan 11000 kWh vuodessa sähköä laitoksen tarpeisiin (STEP Oy, 2020).

Puupellettilaitos toimii kokonaan kotimaisella polttoaineella ja vähentää hiilidioksidipäästöjä 70000 tonnia vuodessa verrattuna aikaisemmin käytössä olleeseen raskaaseen polttoöljyyn. Laitoksella on korkea käyttöaste ja se tuottaa 50 tonnia höyryä tunnissa suurteollisuuspuiston tarpeisiin (STEP Oy, 2020).

Pellettilaitos on täysin automatisoitu ja laitoksen henkilökunta hoitaa pääasiallisesti valvontatehtäviä Harjavallan teollisuuspuiston valvomosta käsin. Laitos sijaitsee Harjavallan teollisuuspuiston länsipuolella itse puistoalueen ulkopuolella omalla aidatulla alueella.

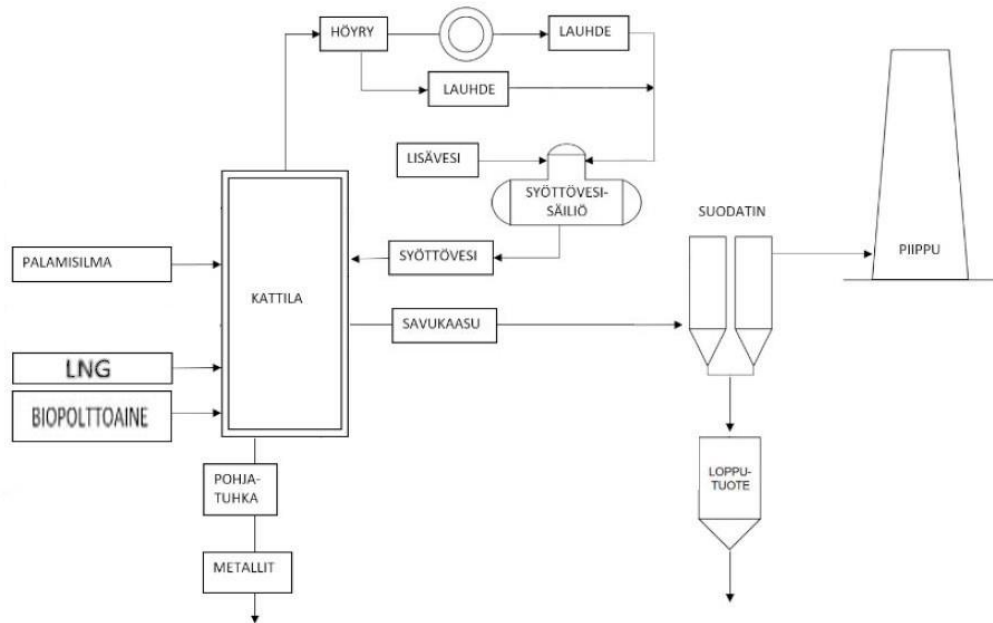
3.1 Laitoksen toiminta

Harjavallan biopolttolaitos käyttää polttoaineenaan pellettiä, jota kuluu vuodessa noin 40000 tonnia (STEP Oy, 2020). Varapolttoaineena toimii nesteytetty maakaasu. Alla olevassa kuvassa on laitoksen polttoainesyöttöprosessi (Kuva 1).



Kuva 1 30MW:n polttolaitoksen polttoprosessi (STEP Oy, 2020).

Laitoksen puupellettejä säilytetään kahdessa siilossa, joista pelletit kuljetetaan sisälle jauhatusjärjestelmään. Jauhatuksen jälkeen polttoaine syötetään kattilan polttimeen. Voimalaitoksen arinakattilana toimii luonnonkiertoinen säteilykattila, joka on varustettu pölypolttimella. Polttoaine palaa leijupoltossa tulipesässä, johon palamisilma syötetään pääasiallisesti kattilan alaosan kautta. Tuhka laskeutuu kattilan pohjalle, josta se imuroidaan pois muutaman kerran vuodessa. Arinakattila lämmittää putkistossa kiertävän veden höyryksi, joka toimitetaan Harjavallan suurteollisuuspuiston alueelle asiakkaan käytettäväksi. Savukaasut ohjataan sähkösuodattimen kautta savupiippuun (STEP Oy, 2024). Alla olevasta kuvasta nähdään laitoksen toimintaperiaate (Kuva 2).



Kuva 2. Harjavallan polttolaitoksen toimintaperiaate (Ramboll, 2021).

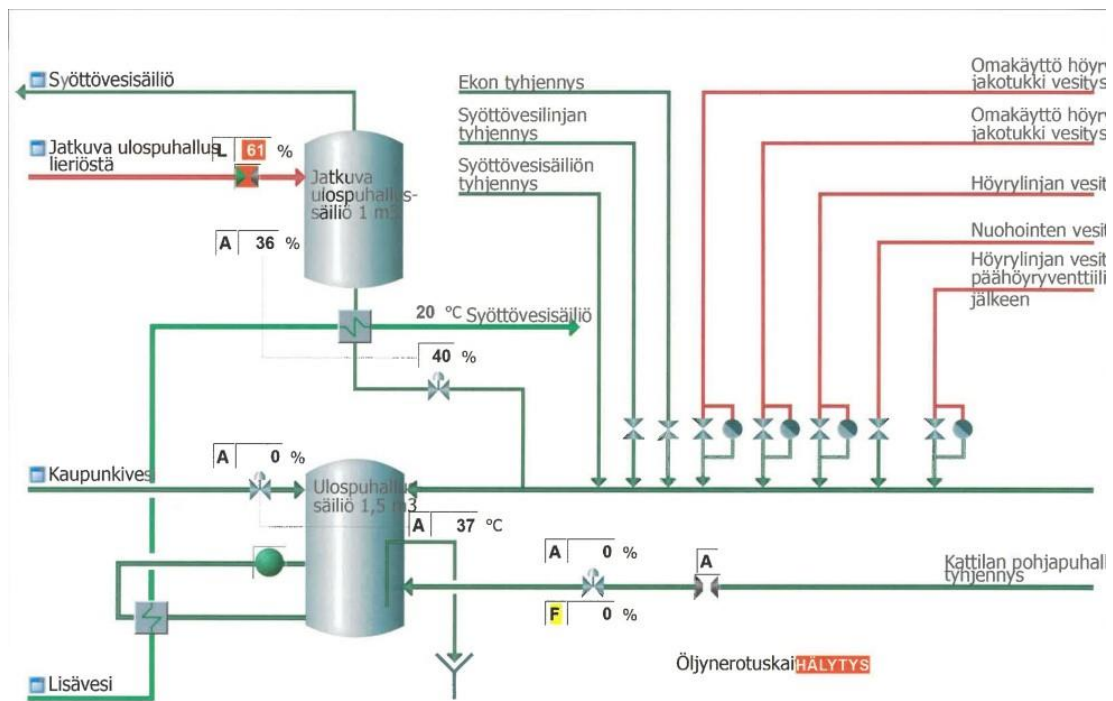
Asiakas toimittaa Harjavallan puupellettilaitokselle höyrylauhteita sulattamosta. Liitteessä 1 nähdään kaavio höyrykierrosta ja lauhteista. Lauhteet syötetään kattilan syöttövesisäiliöön, jossa ne sekoittuvat lisäveden kanssa ennen kattilapiiriin syöttämistä. Vuoden 2022 alkupuolella asiakkaan höyrylauhteiden toimitus takaisin voimalaitokselle on muuttunut epäsäännöllisemmäksi. Tämän vuoksi lisäveden tarve on kasvanut suuremmaksi kuin laitoksen suunnittelussa on alun perin huomioitu. Laitoksen nykyistä lisäveden lämmitysjärjestelmää ei ole suunniteltu tällaisia tilanteita varten, ja tämän vuoksi lisäveden lämmitysjärjestelmä ei pysty antamaan riittävää lämpöä lisävedeen.

Liitteessä 2 nähdään lisäveden ja lauhteen lämpötilan heilahtelut helmikuun 2024 aikana. Trenditietoja, jotka olisivat ulottuneen vuoden 2022 edeltävään aikaan ei ole saatavilla. Keskustelut henkilökunnan kanssa kuitenkin paljastivat, että lämpötilavaihtelut lauhteessa ja lisävedessä ovat pahentuneet vuoden 2022 ensimmäisien kuukausien aikana.

3.2 Lisäveden lämmönsiirrin

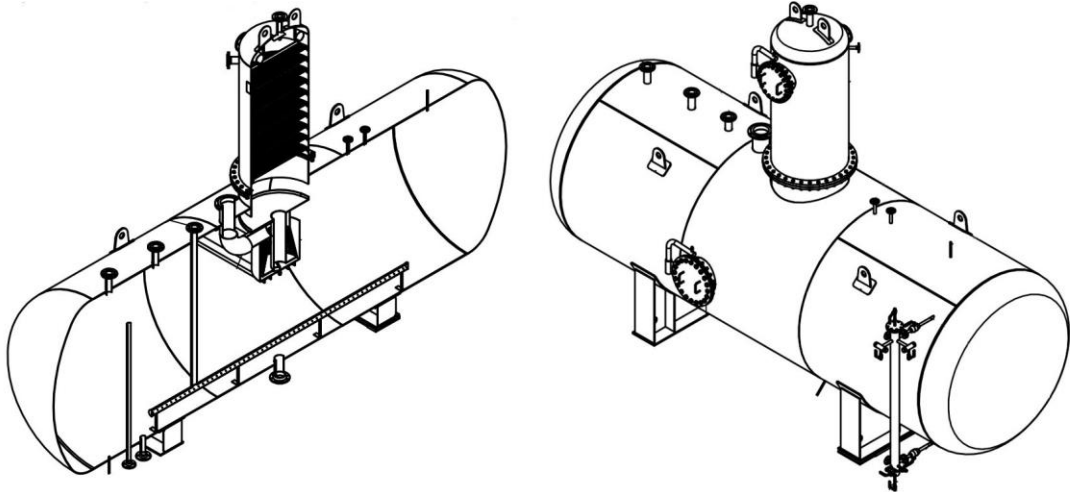
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää syy lisäveden liian alhaiseen lämpötilaan. Hypoteesina oli, että nykyinen lämmönsiirrin prosessissa on

likainen tai vioittunut. Lämmönsiirrin saa lämpöenergiansa jatkuvasta ulopuhallussäiliöstä (JUP-säiliö) tulevan putken välityksellä, jonka pitäisi siirtää lämpö lisäveden. Järjestelmässä on myös toinen lämmönsiirrin, joka saa lämmitysenergiansa 1,5 m³ ulopuhallussäiliöstä. Tämän lämmönsiirrin on tarkoitus esilämmittää ja hyöty käyttää muualta prosessista tulevaa hukkaenergiaa. Saatava lämpöenergia on kuitenkin vain ajoittaista. Lisäveden lämpötila laskee päivittäin useita kertoja 20–30 °C välille. Lisäveden tavoitelämpötila olisi 70–80 °C. Alla olevassa kuvassa nähdään prosessikuva lämmönsiirtimestä jatkuvan ulopuhallussäiliön alapuolella ja sekundääri lämmönsiirrin alempana ulopuhallussäiliön vasemmalla puolella (Kuva 3).



Kuva 3. Syöttövesisäiliöön kulkee vain 20 °C lisävettä (STEP Oy, 2024).

Kylmempi lisävesi sekoittuu kattilan syöttövesisäiliöön (SYVE-säiliö) tulevien kuumien laudevesien kanssa ja lisäveden liian alhaisen lämpötilan takia aiheuttaa lämpötilavaihteluita höyrytornissa. Tämä aiheuttaa SYVE-säiliön höyrytornissa rajua lämmönvaihtelua. Lisäksi SYVE-säiliötä lämmitetään kattilasta tulevalla höyryllä, jotta syöttövesi kattilaan saadaan halutun lämpöiseksi. Alla olevasta kuvassa SYVE-säiliön läpileikkaus (Kuva 4).



Kuva 4. Vasemmalla läpileikkaus SYVE-säiliöstä ja näkymä höyrytornin levyistä (STEP Oy, 2024).

Suuret lämpötilavaihtelut kaasunpoistotornissa aiheuttavat levyjen vääntymistä ja johtavat kohonneisiin huoltokustannuksiin. Käytännössä levyt on jouduttu vaihtamaan useaan otteeseen ja uudet levyt on hitsattu torniin kiinni. Lisäveden lämmitykseen käytetty lämmönsiirrin ei siirrä kattilasta saatavaa ulospuhalluslämpöä lisäveden riittävän tehokkaasti tai lämpöä ei ole riittävästi saatavilla. Lisäveden tilaavuusvirtaa ei myöskään tiedetä mittauspisteen puuttumisen takia.

3.3 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin on lämmönsiirtotekniikkaa, joka on suunniteltu siirtämään lämpöä tehokkaasti aineesta toiseen. Lämmönsiirtimen rakenne koostuu useista uritetuista levyistä, jotka on liitetty toisiinsa juottamalla tai hitsaamalla. Levyjen välit muodostavat kanavia, joissa kulkevan nesteen lämpö voidaan siirtää toiseen nesteeseen.

Levylämmönsiirtimillä on useita tärkeitä ominaisuuksia, jotka tulee ottaa huomioon siirtimen valintaa tehdessä. Näitä ovat esimerkiksi paine- ja lämpötilarajat, virtauskapasiteetti, sijainti laitoksessa ja huollon tarve. Painelukemat ja lämpötilarajat ovat erityisen tärkeitä, sillä ne määrittävät, kuinka paljon lämpöä lämmönsiirrin voi siirtää ja millaisiin käyttöolosuhteisiin se soveltuu.

Levylämmönsiirtimet ovat erittäin monipuolisia ja niitä voidaan käyttää monissa eri sovelluksissa, kuten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä, teollisuuden prosesseissa ja ilmastointilaitteissa. Levylämmönsiirtimien suurin etu on niiden korkea lämmönsiirtoteho, joka johtuu levyjen suuresta pinta-alasta ja kanavien kapeasta rakenteesta. Tämä mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron pienessä tilassa ja alhaisemman painehäviön.

Lämmönsiirtimessä lämmönsiirto tapahtuu siten, että kuuma neste kulkee putkessa tai kanavassa, joka on lämmönsiirtimen toisella puolella. Tämä puoli on yhteydessä lämmitysnesteen kulkevaan putkeen tai kanavaan, jossa lämmitysneeste kulkee. Lämpö siirtyy lämmönsiirtimen välityksellä kylmemmän nesteen puolelle, jolloin kuumennettava neste jäähtyy ja lämmitettävä neste lämpenee.

4 LÄMMÖNSIIRRON TEORIA

Lämmönsiirtimen tarkoituksena on siirtää lämpöä lämpötilaeron kautta kahden tai useamman ainevirran välillä. Lämmönsiirron tarkoituksena on aiheuttaa lämpötilanmuutoksia ainevirroissa ja esimerkiksi jäähdyttää, lämmittää tai lauhduttaa ainevirtaa.

Lämmönsiirtimet jaotellaan kahteen ryhmään: regeneroiviin ja rekuperoiviin lämmönsiirtimiin. Ainevirrat kulkevat regeneraattoreissa vuorotellen vastakkaisiin suuntiin lämpöä varastoivan rakennelman läpi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiallisesti rekuperatiiviseen lämmönsiirtimeen, jossa kulkee jatkuvasti kaksi ainevirtaa. Lämpöä siirtyy kuumasta fluidista kylmään fluidiin virtoja erottavan seinämän läpi. Rekuperaattori on stationäärinen lämmönsiirtin. Niitä ovat kaikki haihduksittimet, jäähdyttimet, lauhduksittimet ja lämmittimet. Rekuperaattorit erotellaan virtaussuuntien mukaan myötä-, risti- ja vastavirta-lämmönsiirtimiin sekä näiden yhdistelmiin.

4.1 Lämmönsiirtomekanismit

Termodynamiikan ensimmäinen ja toinen pääsääntö määrittävät lämmönsiirtymisen periaatteet. Ensimmäinen sääntö ilmaisee, että energiaa ei voi luoda eikä tuhota, vaan energia siirtyy muodosta toiseen. Toisen pääsäännön mukaan lämpöenergia siirtyy aina korkeamman lämpötilan kohteesta matalamman lämpötilan kohteeseen. Toinen pääsääntö toteaa myös osan energiasta muuttuvan hukkalämmöksi, koska kaikkea lämpöä ei voida muuttaa työkse. Tämä tarkoittaa, että osa lämpöenergiasta muuttuu aina hukkalämmöksi, jota ei voida hyödyntää työn tuottamiseen.

4.1.1 Johtuminen

Johtumista tapahtuu molekyylien törmätessä toisiinsa. Kun yksi osa aineesta on korkeammassa lämpötilassa kuin toinen, korkeamman lämpötilan molekyylit värähtelevät voimakkaammin. Törmäyksissä energiaa siirtyy nopeammin

liikkuvista molekyyleistä hitaammin liikkuviin molekyyleihin. Tämä prosessin jatkuessa lämpöenergia kulkee korkeamman lämpötilan alueelta matalamman lämpötilan alueelle (Inkinen Pentti & Tuohi Jukka, 2002, s. 409).

Johtumisen nopeus riippuu materiaalin ominaisuuksista. Metallit, kuten kupari ja alumiini johtavat lämpöä tehokkaasti. Näissä metalleissa on paljon vapaita elektroneja, jotka voivat siirtää lämpöenergiaa.

Lämmönsiirto, joka tapahtuu yksiulotteisesti ja stationaarisesti johtumalla, voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\Phi = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Φ	siirtynyt lämpövirta [W]
λ	lämmönjohtavuus [W/mK]
A	pinta-ala, joka on kohtisuorassa lämmönsiirron suuntaan [m ²]
dT/dx	lämpötilagradientti, joka ilmoittaa lämpötilan muutoksen tietyllä etäisyydellä [K/m]

4.1.2 Konvektio

Konvektioprosessissa eli kuljetusprosessissa lämpöenergiaa siirtyy paikasta toiseen virtaavan aineen mukana. Konvektio voi olla joko vapaata tai pakotettua. Vapaassa eli luonnollisessa konvektiossa ainevirtausta tapahtuu tiheyserojen seurauksena. Kylmät ja lämpimät merivirrat ovat hyvä esimerkki luonnollisesta konvektiosta. Pakotetussa konvektiossa lämmön siirtyminen tapahtuu ulkoisten keinojen aiheuttamana, kuten pumpun aikaansaaman virtauksen kautta (Inkinen Pentti & Tuohi Jukka, 2002, s. 407).

Konvektion kaava lämpötilan rajakerroksessa:

$$Q = H * A * (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Q	lämmönsiirron määrä [W]
H	konvektiivinen lämmönsiirtokerroin [W/Km ²]
A	pinta-ala, jonka kautta lämmönsiirto tapahtuu [m ²]
T _s	pinnan lämpötila [K]
T _∞	ympäröivän fluidin lämpötila [K]

Newtonin konvektiolain mukaan lämpövirta riippuu suoraan lämmönsiirtopinta-alasta, konvektiivisesta lämmönsiirtokerroimesta sekä lämpötilaerosta pinnan ja sitä ympäröivän virtaavan aineen välillä.

4.1.3 Säteily

Lämpösäteily on energian siirtymistä aaltojen muodossa avaruuden tai aineen kautta. Säteily tapahtuu elektromagneettisten aaltojen avulla. Lämpösäteily voi tapahtua tyhjiössä eikä se vaadi väliainetta, toisin kuin johtuminen ja konvektio (Inkinen Pentti & Tuohi Jukka, 2002, s 418).

Lämpösäteilyn tehon voi laskea käyttämällä Stefan-Boltzmanin lakia:

$$P = \epsilon\sigma AT^4 \quad (3)$$

P	säteilyn teho [W]
ε	pinnan emissiivisyys
σ	Stefan-Boltzmanin vakio [W/(m ² *K ⁴)]
A	säteilevän pinta-ala [m ²]
T ⁴	lämpötilan neljäspotenssi

4.2 Lämmönsiirtimen teoreettinen mitoitus NTU-menetelmällä.

Lämmönsiirtimen mitoituksen päämääränä on saavuttaa mahdollisimman suuri lämmönsiirtoteho huomioiden taloudelliset ja fyysiset rajoitteet. NTU-menetelmää (Number of Transfer Units) käytetään lämmönsiirtimien mitoituksessa. Menetelmä on yksinkertaistettu malli ja antaa karkean arvion

lämmönsiirtimen todellisesta suorituskyvystä. Siirtoyksiköiden määrä (Number of Transfer Units eli NTU) on yhdistelmä kokonaislämmönsiirtokertoimia, siirtoaluetta, nestevirtausta ja lämpökapasiteettia. Toisin sanoen lämmönsiirtimen suorituskyykyä arvioidaan ottamalla huomioon siirtimen ominaisuudet, virtauksen ominaisuudet ja lämmönvaihtimen geometria. NTU-menetelmässä on kaksi pääparametria: lämmönvaihtimen tehokkuus (ε) ja NTU. Tehokkuus on suhde ihanteellisen lämmönsiirtymän ja todellisen lämmönsiirtymän välillä (Frank P. Incropera & David P. Dewitt, 1996, s. 599).

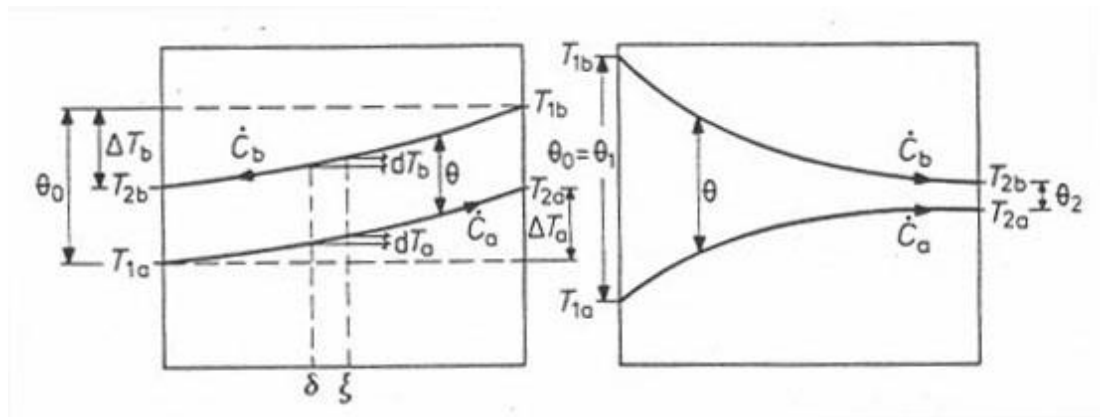
NTU-menetelmää käytetään, kun lämmönsiirtimen virtausolosuhteet vaihtelevat. Sitä voidaan soveltaa erilaisiin rekuperatiivisiin lämmönsiirtimiin, kuten ristivirtaan, vastavirtaan, tai sekoitettuun virtaukseen.

4.3 Rekuperatiivinen lämmönsiirrin

Rekuperatiivinen lämmönsiirrin voi olla tyypiltään myötä-, risti- tai vastavirtalämmönsiirrin. Käytännössä rekuperatiivinen lämmönsiirrin on usein näiden sekoitus. Tässä työssä keskitytään vastavirtalämmönsiirtimen teoriaan. Vastavirtalämmönsiirtimessä ainevirrat kulkevat vastakkaisiin suuntiin. Tämä antaa mahdollisuuden siihen, että kylmän puolen menolämpötila (siirtimestä poistuva virtaus) voi olla korkeampi kuin lämpimän puolen menopuolen lämpötila. Lämmönsiirtimen tehokkuutta kuvaa lämpötilahyötysuhde eli rekuperatioaste.

$$\varepsilon = \frac{\text{(heikomman virran ainevirran lämpötilan muutos)}}{\text{(korkein esiintyvä lämpötilaero)}} \quad (4)$$

Alla olevasta kuvasta voidaan havaita, että ensisijaisen ja toissijaisen puolen lämpötilat vaihtelevat siirtimen eri sijainneissa. Kuvan vasemmanpuoleinen piirros kuvaa vastavirtasiirrintä ja oikea myötävirtasiirrintä (Kuva 5).



Kuva 5. Lämmönsiirtimien ainevirtojenkuvaajat (Markku & Nils-Erik Fagerholm, 2005, s. 19).

\dot{C}_a , \dot{C}_b lämpökapasiteettivirrat $\dot{C} = \dot{m}_p$

R_a , R_b , R lämpökapasiteettivirtojen suhde $R = \frac{\dot{C}_{min}}{\dot{C}_{max}} \leq 1$

ΔT_a , ΔT_b lämpötilan muutos virtaavassa väliaineessa

θ virtojen välinen lämpötilaero

θ_0 virtojen alkulämpötilaero

z_a , z_b , z dimensioton konduktanssi $z = \frac{G}{\dot{C}_{min}}$

ε_a , ε_b suhteellinen lämpötilanmuutos $\varepsilon = \frac{\Delta T_a}{\theta_0}$

ε rekuperaatioaste $\varepsilon = \frac{\Delta T_{max}}{\theta_0}$

Logaritminen keskilämpötilaero lasketaan yhtälöllä:

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (5)$$

Yhtälöä käytetään LMDT-menetelmässä (Log Mean Temperature Difference) lämmönsiirtimen mitoittamiseksi. Menetelmässä lasketaan logaritminen lämpötilaero myötä- tai vastavirtalämmönsiirtimille. Tämän jälkeen lämmönsiirtimelle voidaan määrittää halutut dimensiot. Tämä vaihe tapahtuu laskentaohjelmilla.

5 MITTAUKSET

5.1 Mittauslaitteisto

Mittauksissa käytettiin ultraäänivirtausmittaria ja infrapunalämpömittaria. Mittaukset toteutettiin Harjavallan 30MW:n voimalaitoksella. Mittauksista laadittiin etukäteen mittaus suunnitelma, jonka mukaan mittaukset toteutettiin kolmena eri päivänä.

5.2 General Electric TransPort PT 900

Mittauksiin käytettiin GE TransPort PT900 virtausmittaria. Kannettava ultraäänivirtausmittari soveltuu väliaikaiseen tai paikalliseen virtausmittaukseen. Laitetta ohjataan langattomasti Bluetooth:n kautta kännykällä tai tabletilla. Laitteella voidaan mitata nesteen nopeutta, tilavuutta, tilavuusmassaa, kokonaisvirtausta ja energiavirtaa.

Mittaukseen soveltuvat putkikoot ovat 15–600 mm putkikoon väliltä ja materiaaleiksi kelpaavat kaikki metallit ja suurin osa muovimateriaaleista. Mittauslämpötila on -40°C - 150°C välillä. Mittarin tarkkuus on ± 1 % lukemasta, jos putkikoko on 50 mm tai suurempi, ja ± 2 % lukemasta, jos putkikoko on 15 mm - 50 mm väliltä. Toistettavuus on ± 2 % lukemasta. Tarkemmat tiedot GE TransPort PT900 virtausmittarista liitteessä 3. Alla olevassa kuvassa GE TransPort PT900 virtausmittari putkeen kiinnitettynä (Kuva 6).



Kuva 6. TransPort PT900 virtausmittari.

5.3 Infrapunälämpömittari Fluke 62 MAX

Lämpötilamittarina käytettiin Fluke 62 MAX infrapunälämpömittaria. Mittausalue on $-30^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ ja tarkkuus $\geq 0^{\circ}\text{C}$: $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ tai $\pm 1.5\%$ lukemasta, kumpi on suurempi. Alla olevassa kuvassa Fluken 62 infrapunälämpömittari (Kuva 7).



Kuva 7. Fluken 62 MAX – malli.

Infrapunamittarin linssi kohdistaa mitattavasta pinnasta tulevan infrapunäsäteilyn lämpösähköpariin, joka on laitteeseen sisäänrakennettu anturi. Lämpösähköpari muuntaa havaitsemansa säteilyn lämmöksi, joka puolestaan muuntuu sähkövirraksi. Sähkövirta puolestaan siirtyy toiseen anturiin, joka sähkövirran avulla mittaa kohteen lämpötilan. Mitä enemmän virtaa siirtyy, sitä

korkeampi lämpötila on. Mittarista ei voi säätää emissiivisyysasetusta, joten mittauksissa tulee heittoa, joka johtuu teräsputken pinnan kiillosta. Infrapunan mittarin tarkemmat tiedot ovat liitteessä 4.

5.4 Mittausten toteutus

Mittauskertoja oli kolme. Kaikilla kolmella mittauskerralla virtaukset mitattiin lisäveden putkesta lämmönsiirtimen jälkeen ja JUP-säiliöstä tulevasta putkesta, joka menee lisäveden lämmönsiirtimeen. Ensimmäinen mittauskerta oli 14.02. klo 13–15 välillä. Ulkolämpötila oli mittaushetkellä noin $-0,9^{\circ}\text{C}$. Toinen mittauskerta oli 15.02 klo 10–12. Ulkolämpötila oli toisella mittauskerralla noin $-0,9^{\circ}\text{C}$. Kolmas mittauskerta oli 23.02. klo 10–12. Ulkolämpötila oli tällöin noin $2,0^{\circ}\text{C}$.

5.5 Lämpötilamittaukset

Lämpötilamittaukset suoritettiin Fluke 62 MAX mittarilla. Mittausetäisyys putkista oli noin 10–15 cm. Mittaukset suoritettiin putkien pinnoilta virtausmittausten yhteydessä. Lisävesiputken pinnan lämpötila vaihteli $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$:n välillä. JUP-säiliöstä tulevan putken pintalämpötila vaihteli mittausten aikana $70\text{--}78^{\circ}\text{C}$:n välillä. Tarkemmat mittaustulokset saatiin suoraan automaatikasta ja löytyvät liitteestä 5.

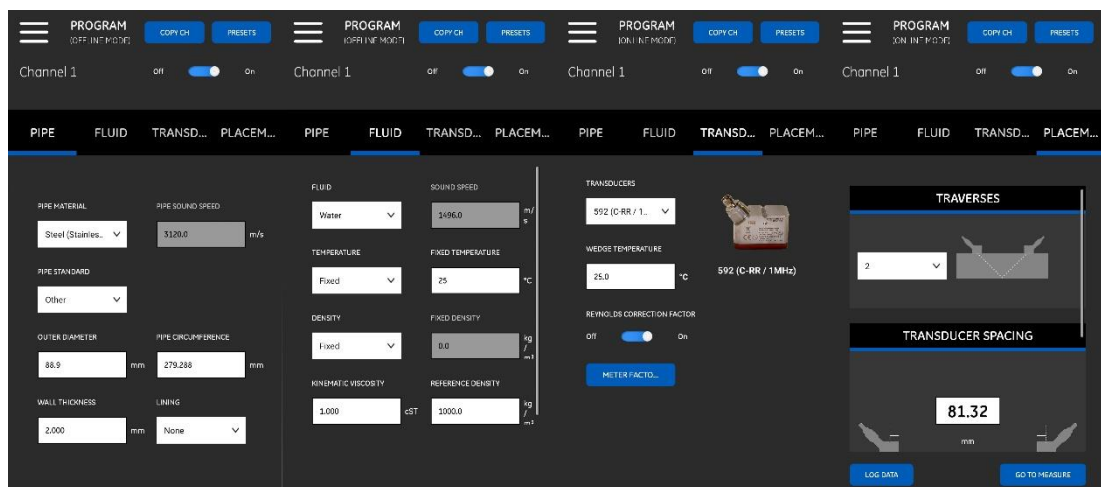
5.6 Virtausmittaukset

Mittaukset aloitettiin lisävesiputkesta ja mittaushetkenä toimi lämmönsiirtimen oikealla puolella oleva menoputki. Alla olevasta kuvasta nähdään mittauspisteen sijainti (Kuva 8).



Kuva 8. mittauspiste sijaitsee lisävesiputkilinjan puolella välissä.

Lisäveden putki on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja sen koko on 88,9 mm ja seinämänpaksuus 2,0 mm. Mittauslämpötila vaihteli mittauksen aikana 25–27°C välillä. Alla olevasta kuvasta nähdään virtausmittariin sijoitetut arvot (Kuva 9).



Kuva 9. TransPort PT900 sijoitetut arvot.

Tarkempi kuva virtausmittarin asetuksista löytyy liitteessä 6. Mittauksia jatkettiin 15.02. lämmönsiirtimeen tulevasta lämmitysputkesta. Putki tuo JUP-säiliöstä lämpöä lämmönsiirtimelle, josta lämmönsiirrin siirtää energiaa lisäveteen. Alla olevasta kuvasta näkee mittauspisteen sijainnin (Kuva 10).



Kuva 10. Lämmönsiirtimeen tuleva lämmityksen tuloputki JUP-säiliöstä.

JUP-säiliön putken eristeet poistettiin tilapäisesti mittauksien ajaksi. Lämmitysputken koko on 33,7 mm ja seinämän paksuus 3,25 mm. Putki on valmistettu hiiliteräksestä. Lämmitysveden lämpötila vaihteli 72–78°C välillä mittauksen aikana. Alla olevasta kuvasta nähdään mittauspiste putkessa (Kuva 11).



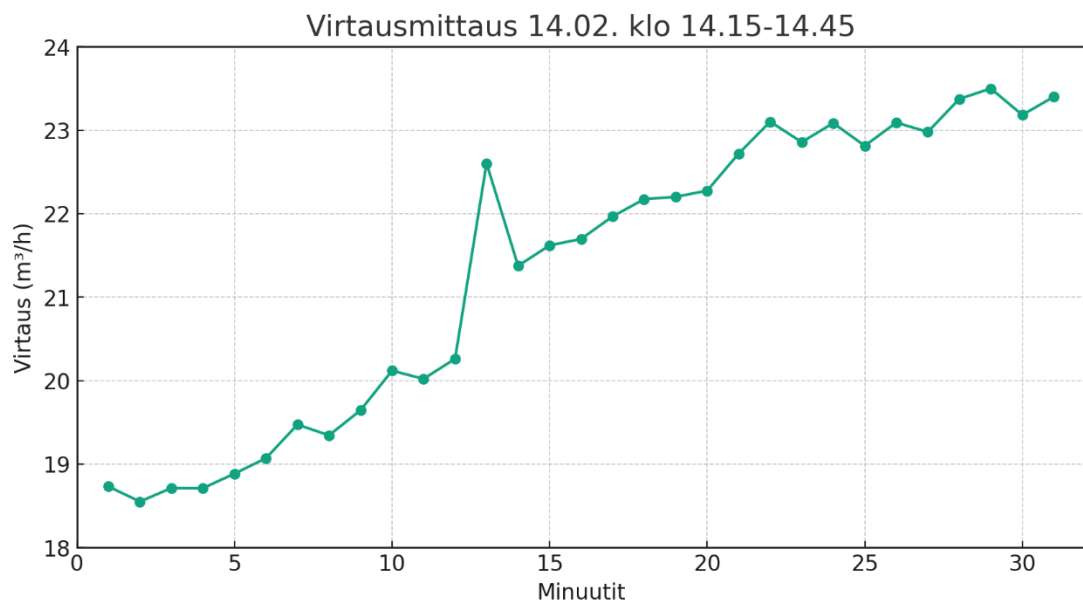
Kuva 11. JUP-säiliöstä tulevan kuorittu lämmitysputken mittauspiste.

Lämmönsiirtimestä mitattiin ensiöpuolen (JUP-säiliöstä) menoputken fluidin lämpötila, mutta ei virtausmittausta. Samoin toisiopuolen tuloputkesta mitattiin lisäveden lämpötila, mutta ei nesteen virtausta. Virtauksiin ei tapahdu näennäistä muutosta lämmönsiirtimessä, joten mittaamiselle ei ollut tarvetta.

6 TULOKSET MITTAUKSISTA JA LASKEMINEN

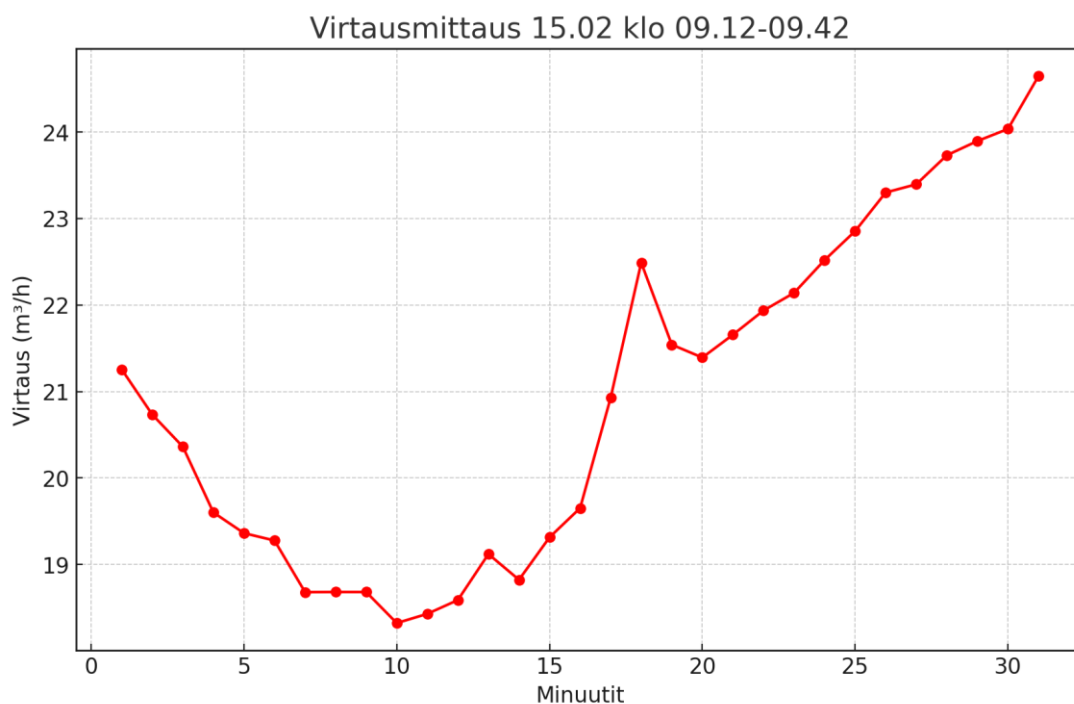
6.1 Tulokset mittauksista

Lisäveden virtaus syöttövesisäiliöön vaihteli ensimmäisen ja toisen mittausker-
ran aikana 15–25 m³/h:n välillä. Liitteessä 4 on lisäveden lämpötilat mittauksen
aikana. Alla olevassa kuvassa ovat lisäveden virtaus ensimmäiseltä mittaus-
kerralta (Kuva 12).



Kuva 12. Virtausmittaus 30 minuutin ajalta lisävesiputkesta.

Toinen mittauskerta antoi samansuuntaisia arvoja. Alla olevassa kuvasta havaitaan samansuuruisia mittaustuloksia (Kuva 13).

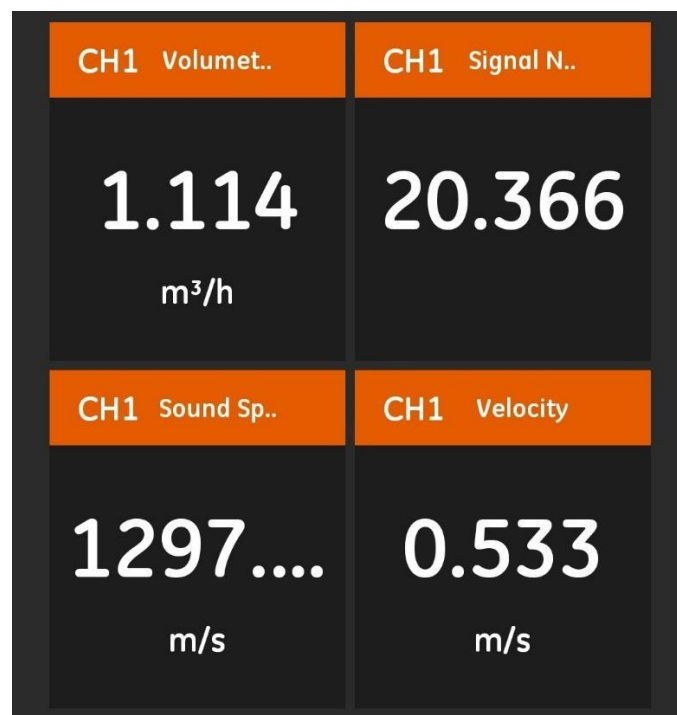


Kuva 13. Virtausmittaus 15.02. 30 minuutin ajan.

Kolmannella mittauskerralla lauhdehöyryn määrä oli huomattavasti korkeampi ja lisäveden tarve vaihteli 2–23 m³/h välillä (Liite 7). Liitteen 8 alimmaisesta taulukosta näkee lauhteen määrän vaihtelun. Vaihtelun takia lisäveden lämpötila kohosi parhaimmillaan 80°C. JUP-säiliöstä tulevan lämmitysveden lämpötila ei kohonnut kuin 90°C:n, mutta tämä riitti nostamaan lisäveden lämpötilaa. Järjestelmän ensimmäinen ulospuhallussäiliöön kytketty lämmönsiirrin luovutti kolmannella mittauskerralla enemmän energiaa lisäveden esilämmitykseen ennen varsinaista lämmönsiirintä, jolloin tulevan veden lämpötila oli noussut jo 29°C:een. Kolmannen mittauskerran tulokset kuvaavat oletettavasti tilannetta, jossa laitos toimii normaalisti, sillä käytettävissä olevan lauhdehöyryn määrä on korkeampi. Mittausten aikana havaittiin, että SYVE-säiliöstä virtasi lämpöä ja mahdollisesti lauhdetta lisävesilinjaan. Tämä selittäisi lämpötilan nopean vaihtelun mittausten aikana. Mittauksen aikana laitoksen putkistot paukuivat suuren lämpötilamuutoksen takia, ja osasta putkien saumoista ja lisäveden lämmönsiirtimessä havaittiin vuotoja. Kolmannen mittauskerralla

havainnoidut suuret lämpötilanvaihtelut lisäävät laitoksen huoltotarvetta ja nostavat sen ylläpidon kustannuksia.

JUP-säiliön mittaukset olivat tasaisia kaikkien kolmen mittauksen aikana. Kolmannella mittauskerralla lämpötilat kohosivat, mutta massavirta pysyi samana. Liitteessä 7 JUP-säiliön mittausdata kaikilta kolmelta kerralta. Alla olevasta kuvasta havaitaan JUP-säiliön tuloputken massavirta mittauskerralla 1 (Kuva 9).



Kuva 14. TransPort PT900 mittaus JUP-säiliöstä tulevasta putkesta.

6.2 Laskelmat

JUP-säiliöstä saatavan energian määrä laskettiin mittausten perusteella. Tilavuusvirta JUP-säiliöstä oli noin 0,8-1,5 m³/h ja lämpötila vaihteli 72–79°C (laskuissa käytetään 75°C / ρ=974,82 kg/m³) välillä. Poistumislämpötila vaihtimesta vaihteli 23–26°C (laskuissa käytetään 25°C) välillä. Luovutetun energian määrä laskettiin alla olevalla kaavalla ja tulokseksi saatiin 71 kWh.

$$Q = \frac{\rho \times cp \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

Q	veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
ρ	veden tiheys (kg/m ³)
cp	veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
V	veden virtaus tunnissa (m ³)
t2	lämmitetyn veden lämpötila °C
t1	poistuvan veden lämpötila °C
3600	yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh)

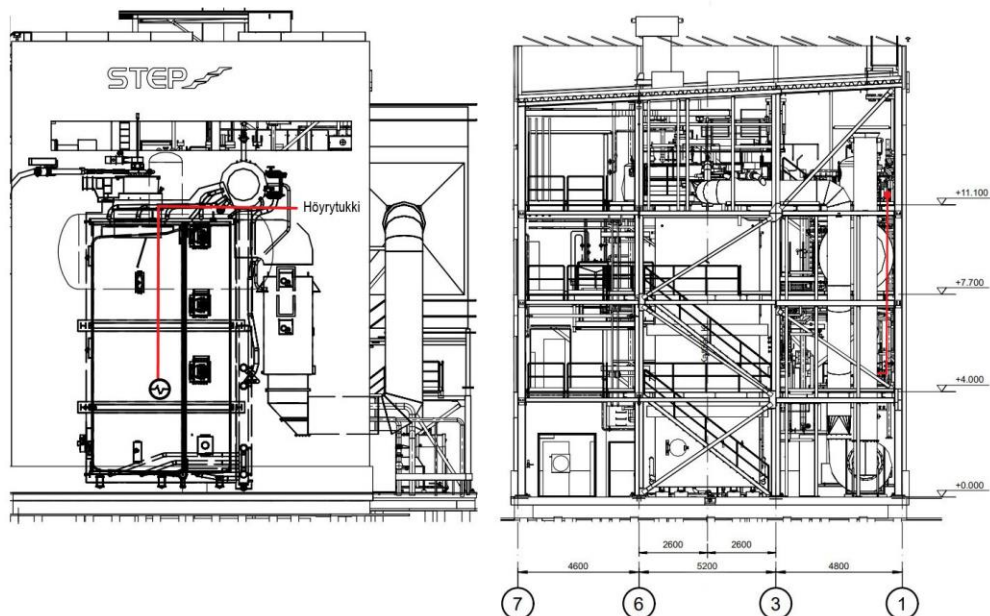
Lisäveden massavirta vaihteli 15–25 m³/h välillä (laskuissa käytetään 20 m³/h/ $\rho=997,07$ kg/m³). Saapuvan veden lämpötila oli noin 22°C ja lämmönsiirtimestä poistuvan lämpötila on 25°C. Saatava tulos on 70 kWh, mutta lämpömittarin tarkkuudessa voi olla heittoa johtuen teräsputken pinnan peilaavuuden vuoksi. Tulos korreloi aikaisemman saadun ensiöpuolen 71 kWh:n tuloksen kanssa.

Jotta Harjavallan puupellettilaitos toimisi optimaalisesti, järjestelmän lisävesi pitäisi saada lämmitettyä 70°C asteeseen. Tämä tarkoittaa, että lisäveden lämmitys tarvitsee 1050 kW:n edestä lisää lämmitystehoa. JUP-säiliöstä ei voida saada enempää lämpötehoa lämmittämään lisävettä, joten esitän ratkaisuksi uuden lämmönsiirtimen mitoitusta lisäveden lämmitystä varten.

7 TOIMENPITEET

Tämän opinnäytetyön mittaustulosten perusteella Harjavallan puupellettilaitoksen lisäveden lämmityksen ongelmat eivät johdu nykyisen lämmönsiirtimen toiminnasta, vaan asiakkaalta tulevien lauhde toimitusten epäsäännöllisyydestä ja lauhteen määrän vähyydestä. JUP-säiliöstä saatava lämmitysteho nykyiseen lämmönsiirtimeen pysyy vakiona. Lisäveden lämmityksen ongelmat ovat pahentuneet vuoden 2022 alun jälkeen, kun pelkistämön tuotantoa on laskettu ja höyrylauhteiden määrä on selvästi vähentynyt.

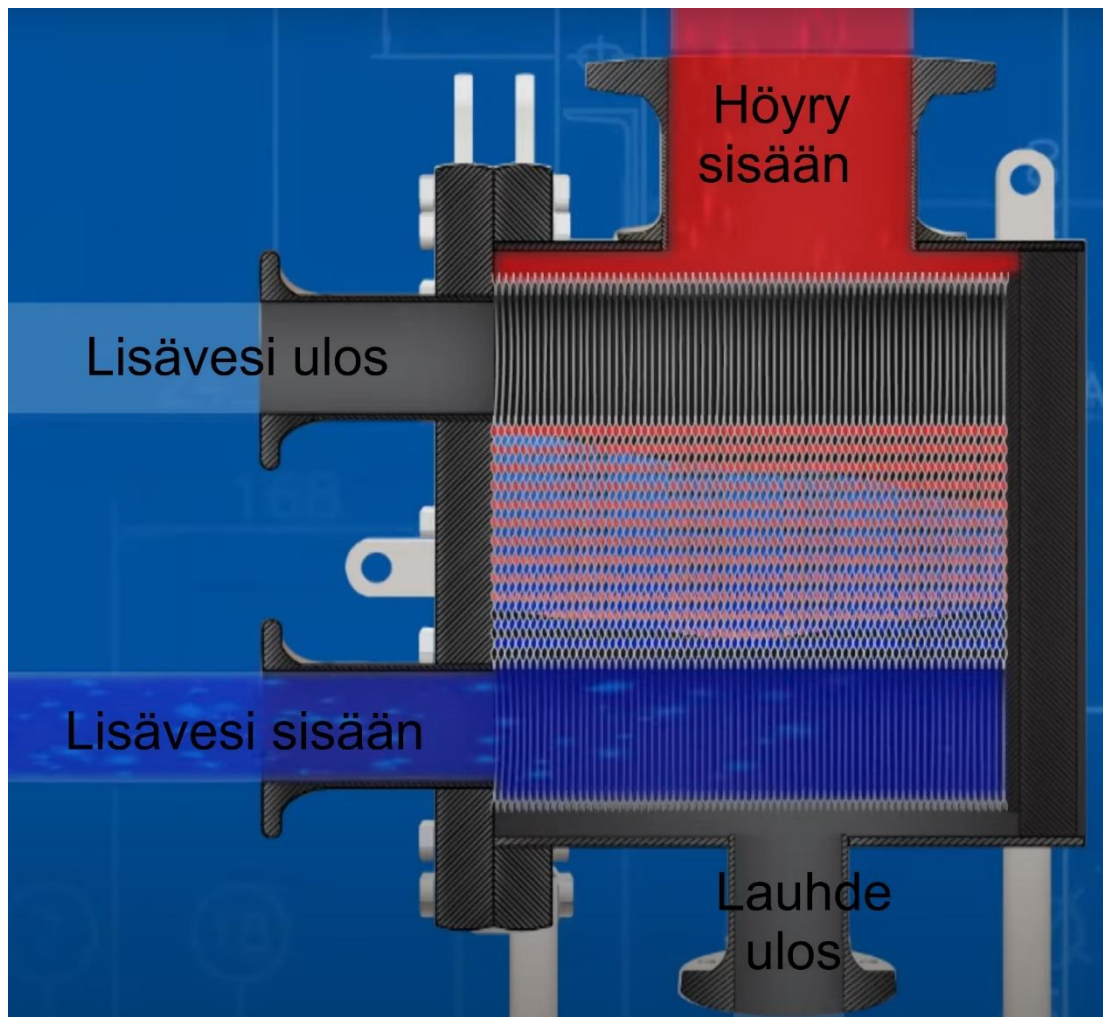
Opinnäytetyön mittaustulosten ja johtopäätösten perusteella ongelma päätettiin ratkaista asentamalla laitokseen uusi lämmönsiirrin lisäveden syöttöputkeen nykyisen lämmönsiirtimen tueksi. Uuden lämmönsiirtimen tarvitsema lämmitysenergia otetaan höyrytukista, joka sijaitsee laitoksen neljännessä kerroksessa. Höyryä kuljettava putkisto syötetään seinän viertä pitkin SYVE-säilön takaa alas toiseen kerrokseen. Ensiöpuolen poistovesi ohjataan samaan, toiseen ulospuhallussäiliöön vievään linjaan, nykyisen lämmönsiirtimen kanssa. Alla olevasta kuvasta nähdään, kuinka höyrytukista otettavaa höyryä varten asennetaan uusi putkistolinja (Kuva 15).



Kuva 15. Putkisto lähtee neljännen kerroksen höyrytukista toiseen kerrokseen (STEP Oy, 2024).

7.1 Uusi lämmönsiirrin

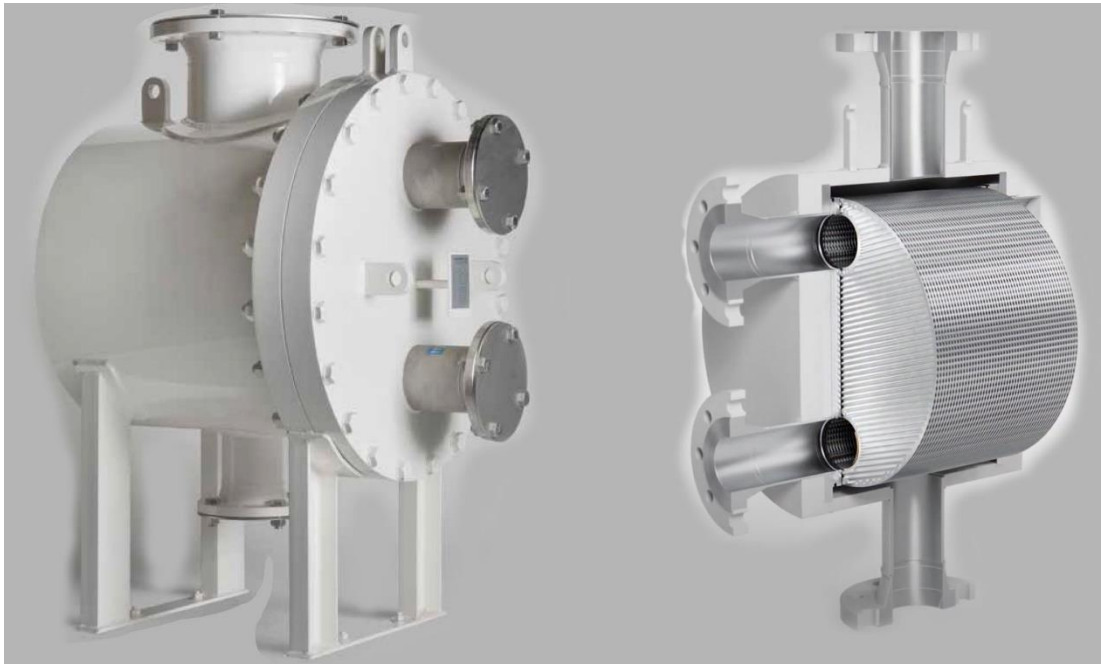
Laitoksen uudeksi lämmönsiirtimeksi valittiin Vahteruksen PSHE 5 levylämmönsiirrin. Lopullinen lämmönsiirtimen mitoitus tehtiin opinnäytetyön mittaus- tulosten perusteella Vahteruksen omilla mitoitusohjelmilla. Vahterus ei kerro tarkemmin, miten yhtiön lämmönsiirtimen mitoitusohjelma toimii yhtiösalaisuuden suojelemiseksi ja patenttien takia. Alla olevassa kuvassa on esitetty Vahteruksen lämmönsiirtimen toimintaperiaate (Kuva 16).



Kuva 16. Vahteruksen lämmönsiirtimen toimintaperiaate (Grafesko Oy, 2016).

Uuden levylämmönsiirtimen toimintaperiaate on seuraavanlainen: DN100 yläliittimestä syötetään sisälle höyryä, ja jäähtynyt lauhde poistuu lämmönsiirtimen pohjasta DN50 liittimen kautta. Lisävesi syötetään lämmönsiirtimen sivussa olevasta DN50 liittimestä sisään, ja lämmennyt lisävesi tulee ulos ylemmästä

DN50 aukosta. Alla olevassa kuvassa Vahterus PSHE-5 lämmönsiirrin (Kuva 16).



Kuva 17. Vahterus PSHE-5 lämmönsiirrin läpileikkauksella (Vahterus, 2024).

Vahteruksen Plate & Shell levylämmönsiirrin toimii vastavirtaperiaatteella. Lämmönsiirtimessä on hitsattu rakenne, joten levyjen väliin ei tarvita tiivisteitä. Se koostuu hitsatusta levypakasta, jota ympäröi vahva kuorirakenne. Ilman tiivisteitä lämmönsiirrin kestää suurempia paineita ja korkeampia lämpötiloja. Lisäksi se on helppo avata ja puhdistaa, sillä lämmönsiirrin avautuu kyljestä ja lämmönsiirtolevyt voidaan vetää kuoresta ulos puhdistettavaksi. Nämä hyvin suunnitellut huolto- ja puhdistusmahdollisuudet tekevät Plate & Shell lämmönsiirtimestä tavallista pitkäikäisemmän, ja pitkän elinkaaren johdosta lämmönsiirtimestä myöskin taloudellisemmän vaihtoehdon. Tarkemmat tiedot Plate & Shell lämmönsiirtimestä löytyvät liitteestä 9.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön mittausten perusteella saatiin hyvä yleiskuva Harjavalan puupellettilaitoksen lisäveden lämmityksen ongelmasta. Asiakkaalta palaa-
vien lauhteiden epäsäännöllisyys on johtanut lisäveden käytön kasvuun. Laitoksen nykyistä lisäveden lämmitysjärjestelmää ei ole suunniteltu tällaista tilannetta varten, ja tämän vuoksi lisäveden lämmitysjärjestelmä ei pystynyt antamaan riittävää lämpöä lisävedeen. Lisäveden 20 asteen lämpötila ja palaa-
vien lauhteiden miltei 90 asteen lämpötila aiheuttivat suuren lämpötilanvaihtelun SYVE-säiliön syöttötorniin. Lämpötilanvaihtelua lisäsi myös se, että SYVE-säiliöön piti syöttää lämmityshöyryä, jotta syöttöveden lämpötilaa saataisiin nostettua riittävälle tasolle.

Laitoksen lisäveden lämmityksen ongelma ratkaistiin mitoittamalla järjestelmään uusi Vahteruksen lämmönsiirrin tämän opinnäytetyön mittausten perusteella. Lämpöenergia lämmönsiirtimelle otetaan höyrytukista ja uusi lämmönsiirrin lämmittää lisäveden ennen SYVE-säiliöön päätymistä. Lämmönsiirtimen lauhteet ajetaan toiseen ulospuhallussäiliöön, josta lauhteen loppulämpö saadaan myös syötettyä lisäveden lämmitykseen. Lämmönsiirtimen lämmitystehoa säädetään venttiilillä ja sitä ohjaavalla lämpötila-anturilla, joka kytketään SYVE-säiliön automatiikkaan. Palaavan lauhteen määrä asiakkaalta ohjaa lisäveden tarvetta. Höyryputken lämmitystehoa ohjataan venttiilillä, joka saa asetuksensa lisäveden lämpötila-anturin mukaan.

Laitoksen hyötysuhde ei kärsi, vaikka uusi lämmönsiirrin ottaa energiansa laitoksen höyrytukista, johon höyry tuotetaan laitoksen kattilassa. Nykyisessä tilanteessa sama höyry määrä syötetään suoraan SYVE-säiliöön lämmittämään kattilaan menevä syöttövesi 70 asteiseksi. Investointi uuteen lämmönsiirtimeen maksaa itsensä takaisin huoltokulujen pienenemisellä, sillä SYVE-säiliön höyrytornin metallilevyjä ei tarvitse enää uudistaa ja hitsata.

Muutostyöt järjestelmään tehdään tulevan revision yhteydessä.

LÄHTEET

Asiakastieto. (2024). Asiakastieto Pori Energia.

<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/pori-energia-oy/07904424/taloustiedot>

Frank P. Incropera, & David P. Dewitt. (1996). Fundamentals of heat and mass transfer (Fourth edition).

Grafesko Oy. (2016). Vahterus Plate & Shell.

<https://www.youtube.com/watch?v=y5xwa1J4udE&t=1s>

Inkinen Pentti, & Tuohi Jukka. (2002). Momentti 1. Otava.

Markku, J. L., & Nils-Erik Fagerholm. (2005). Lämmönsiirtimien mitoitus.

Pori energia. (2024). Porin Energia historia. <https://www.porienergia.fi/yritys/Historia>

Ramboll. (2021). STEP Oy Ympäristövaikutusten arviointiohjelma.

https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/STEP_Oy_Rinnakkaispolttolaitos_Harjavalta_YVAohjelma.pdf

STEP Oy. (2020). HARJAVALLAN PELLETTIHÖYRYLAITOS.

https://www.stepenergy.veolia.fi/sites/g/files/dvc3531/files/document/2016/03/Harjavallan_Pellettihoyrylaitos_-_Pellet_Bioler_Plant.pdf

STEP Oy. (2024). STEP Oy arkisto.

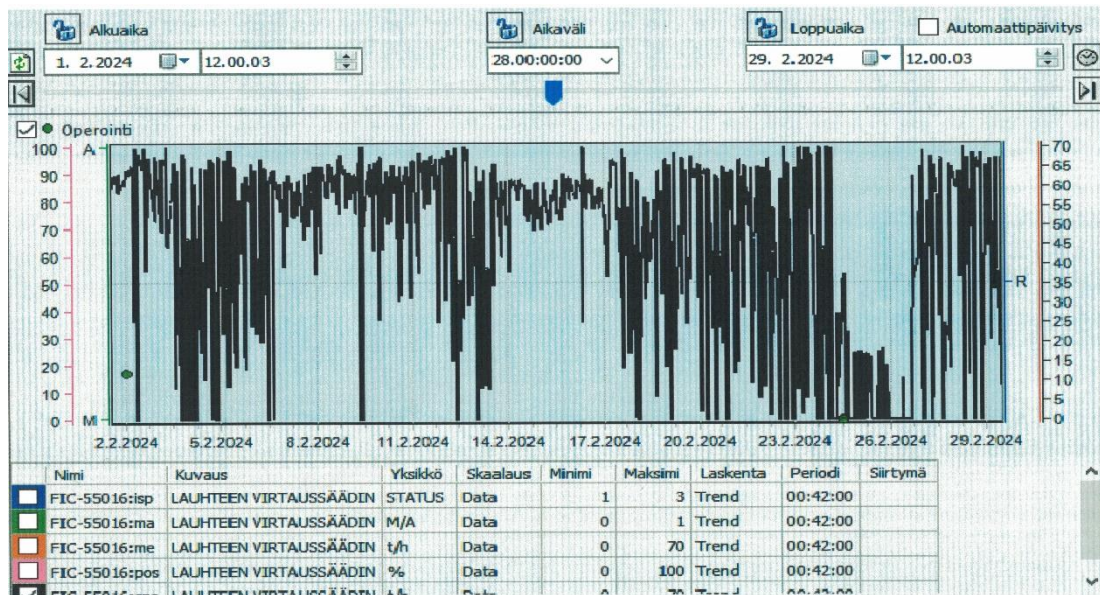
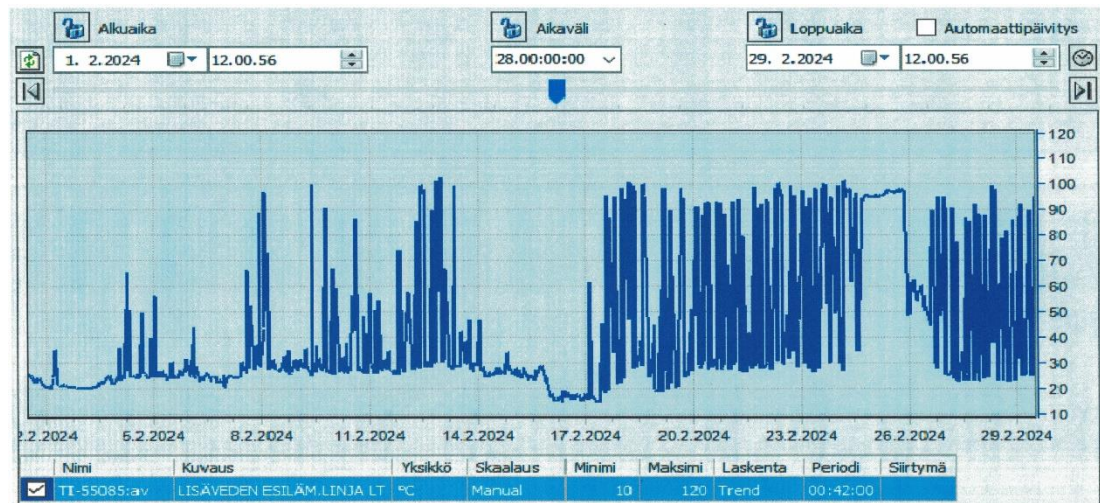
Suomen Asiakastieto Oy. (2024). Yritystieto. Asiakastieto. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/suomen-teollisuuden-energiapalvelut-step-oy/22122981/taloustiedot>

Vahterus. (2024). Tulevaisuuden lämmönsiirratkaisuja.

<https://www.unex.at/media/docs/product-sheets/vahterus/vahterus-catalog-english-lowres.pdf>

Veolia. (2024). Tämä on Veolia. <https://www.veolia.fi/tama-veolia>

LIITE 2: PITKÄAIKAISET LÄMPÖTILAT



LIITE 3: TRANSPORT PT 900 SPECS

TransPort PT900 Specifications

Operation and Performance

Fluid Types

Liquids: acoustically conductive fluids, including most clean liquids and many liquids with small amounts of entrained solids or gas bubbles

Flow Measurement

Patented Correlation Transit-Time™ mode

Pipe Sizes

Standard: 0.5 to 24 in. (15 to 600 mm)
Optional: up to 300 in. (7500 mm) available upon request

Pipe Wall Thickness

Up to 3 in. (76.2 mm)

Pipe Material

All metals and most plastics

Consult GE for concrete, composite materials and highly corroded or lined pipes.

Accuracy

±1% of reading (2 in./50 mm or greater pipe sizes)
±2% of reading (0.5 in./15 mm to <2 in./50 mm pipe sizes)

Installation assumes a fully developed, symmetrical flow profile (typically 10 pipe diameters upstream and 5 pipe diameters downstream of straight pipe run). Final installation accuracy is a function of multiple factors including fluid, temperature range, pipe centricity among other factors.

Repeatability

±0.2% of reading

Range (Bidirectional)

0.1 to 40 ft/s (0.03 to 12.19 m/s)

Response Time

Up to 2 Hz

Measurement Parameters

Velocity, Volume, Mass, Energy, Total Flow

Channels

1 or 2 channels

Flow Transmitter

Enclosure

IP65 rating

Specifications

- *Weight:* 3 lb (1.4 kg)
- *Size (h x w x md):* 7.9 x 4.3 x 1.5 in. (200 x 109 x 38 mm)
- *Mounting:* Soft strap around pipe or magnetic clamp

Analog Inputs

4-20 mA (qty 2)

Analog Output

4-20 mA (qty 1)

Digital Output

Pulse (Totalizer), Frequency, Alarm (qty 1)

Digital Communication

- Modbus via RS485 port
- Bluetooth™ wireless
- Micro-USB port

Battery

Type: Lithium ion (high-energy, rechargeable)

Life (continuous operation): 18-20 hours

Life (power saver mode): >4 days

Charger: 100 to 240 VAC (50/60/Hz)

Charging Time: Up to 3 hours (from 0% to 100%)

Operating Temperature

Charge: 0 to 45°C (32 to 113°F)

Discharge: -20 to 55°C (-4 to 131°F)

Storage Temperature

-20 to 60°C (-4 to 140°F)

Electronics Classifications

- CE (EMC Directive) IEC 61326-1:2013, IEC 61326-2-3:2013, LVD 2006/95/EC, EN 61010-1 2010
- ANSI/UL STD. 61010-1, CAN/CSA STD. C22.2 NO. 61010-1
- WEEE Compliant (Directive 2012/19/EU)
- RoHS Compliant (Directive 2011/65/EU)



Transmitter Electrical Connections

LIITE 4: FLUKE 62 MAX SPECS

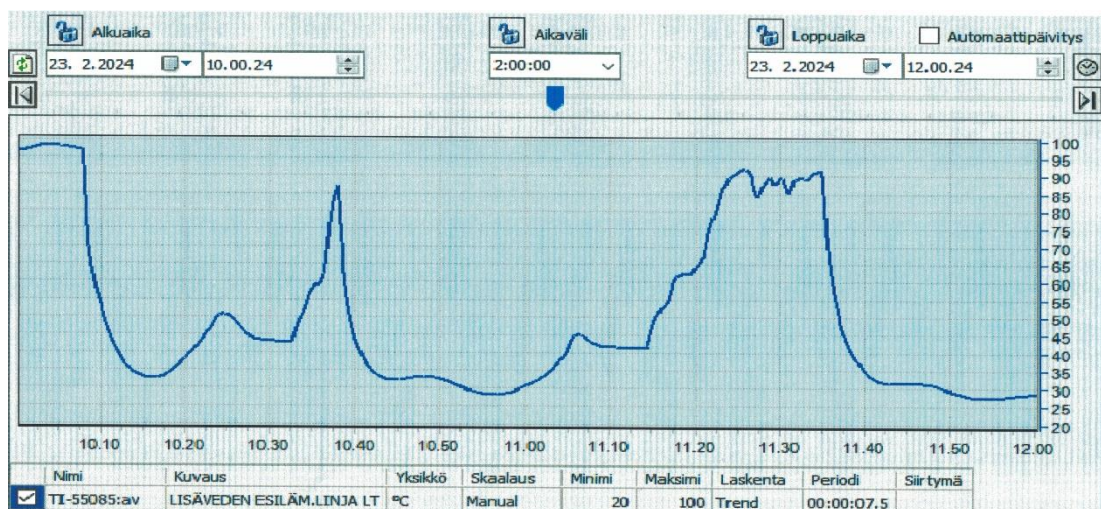
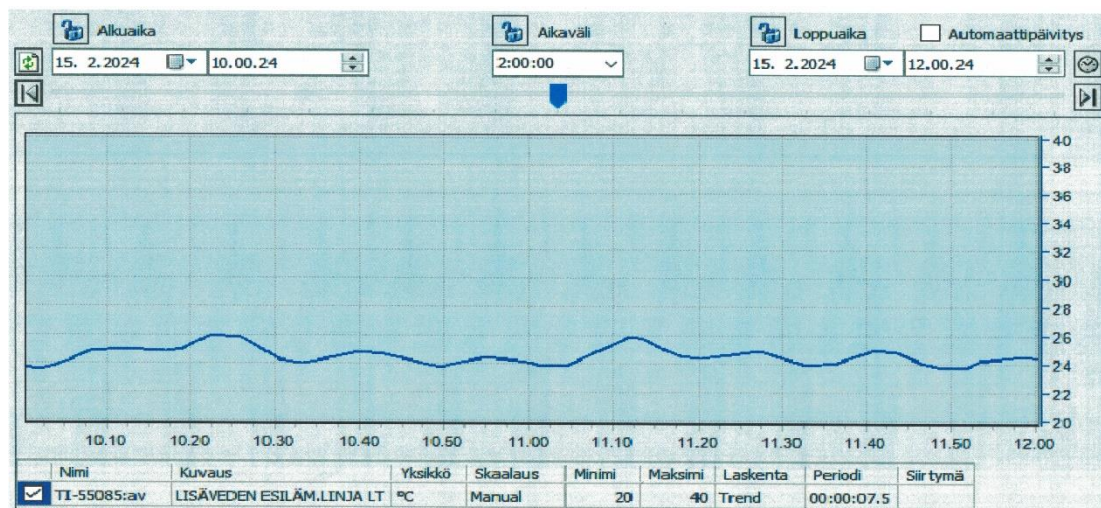
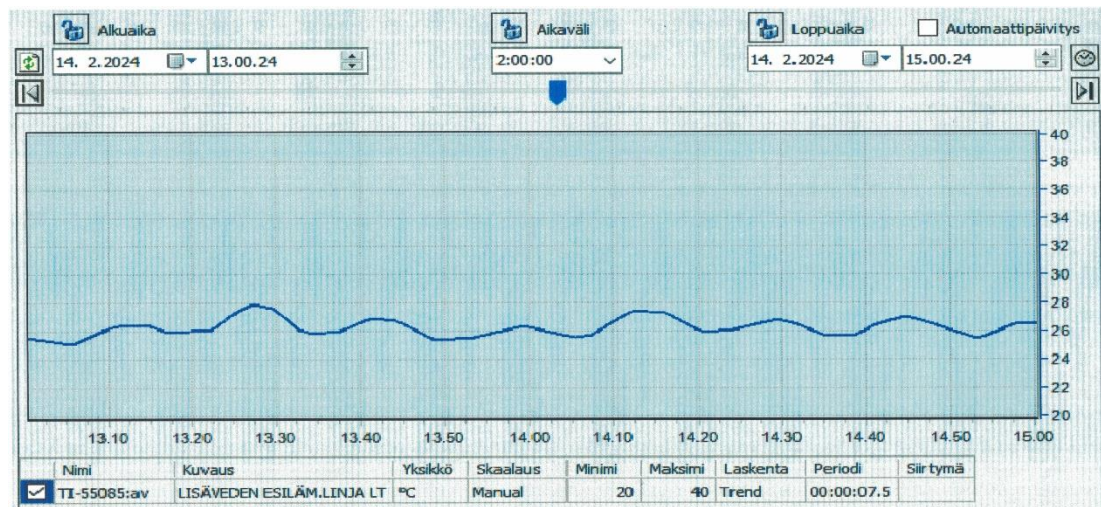
**Infrared Thermometer
Specifications**

Specifications

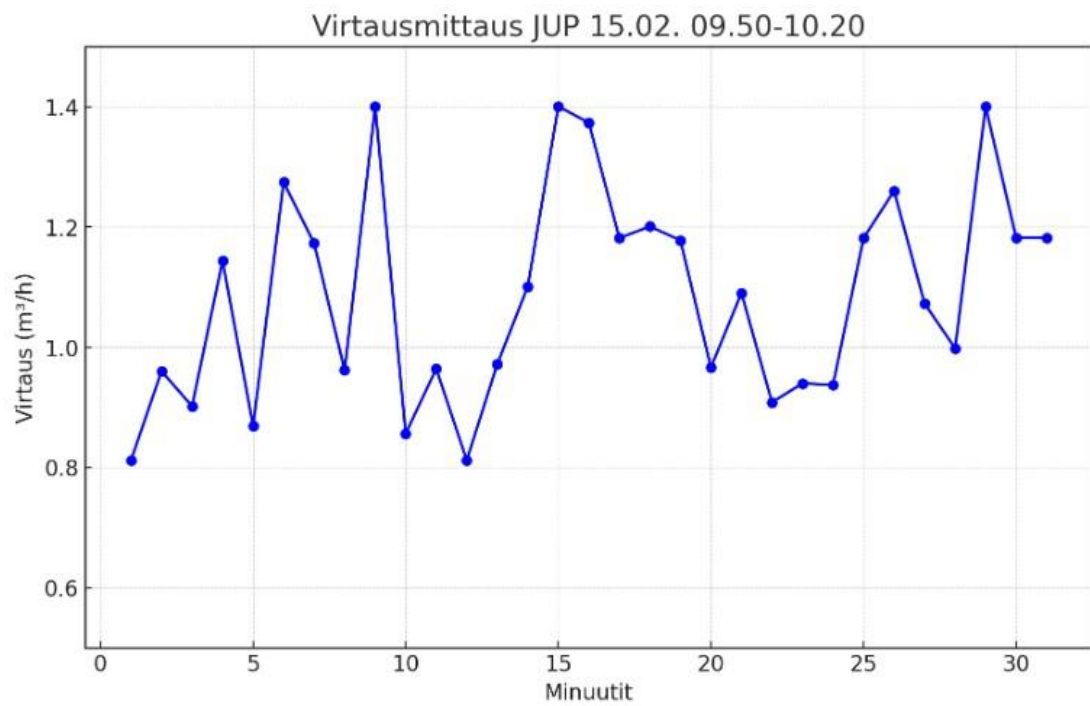
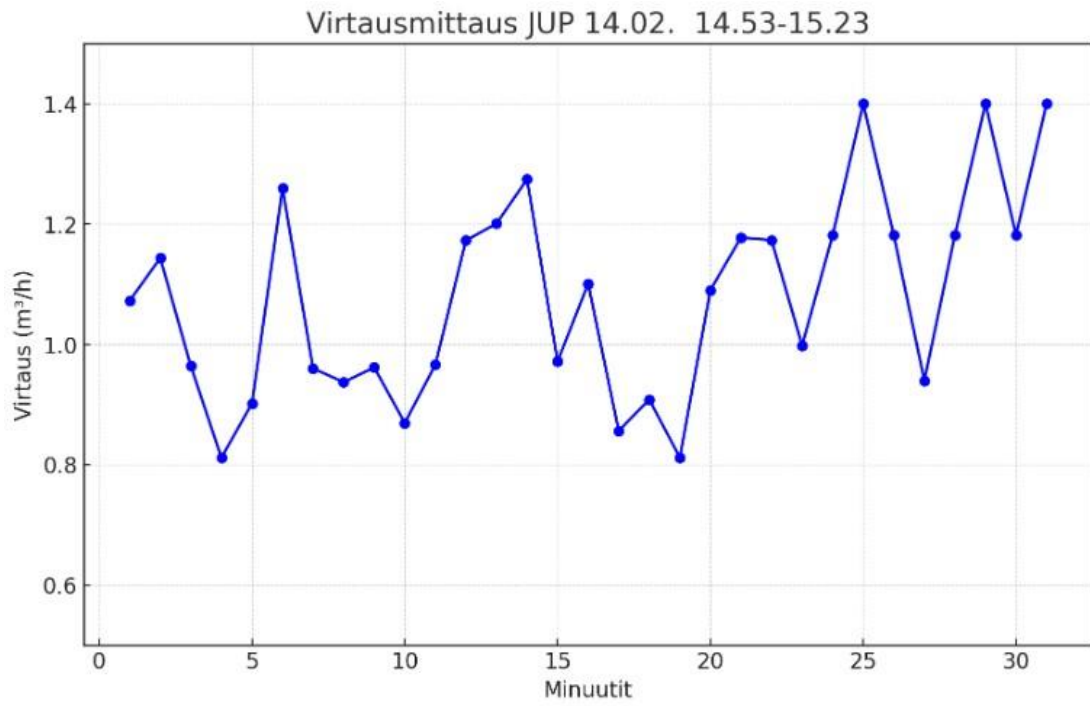
	62 MAX	62 MAX +
Temperature Range	-30 °C to 500 °C (-22 °F to 932 °F)	-30 °C to 650 °C (-22 °F to 1202 °F)
Accuracy (Calibration geometry with ambient temperature 23 °C ±2 °C)	≥0 °C: ±1.5 °C or ±1.5 % of reading, whichever is greater (≥32 °F: ±3 °F or ±1.5 % of reading, whichever is greater) ≥ -10 °C to <0 °C: ±2 °C (≥14 °F to <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)	≥0 °C: ±1 °C or ±1 % of reading, whichever is greater (≥32 °F: ±2 °F or ±1 % of reading, whichever is greater) ≥ -10 °C to <0 °C: ±2 °C (≥14 °F to <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)
Response Time (95 %)	<500 ms (95 % of reading)	<300 ms (95 % of reading)
Spectral Response	8 to 14 microns	
Emissivity	0.10 to 1.00	
Temperature Coefficient	±0.1 °C/°C or ±0.1 %/°C of reading (whichever is greater)	

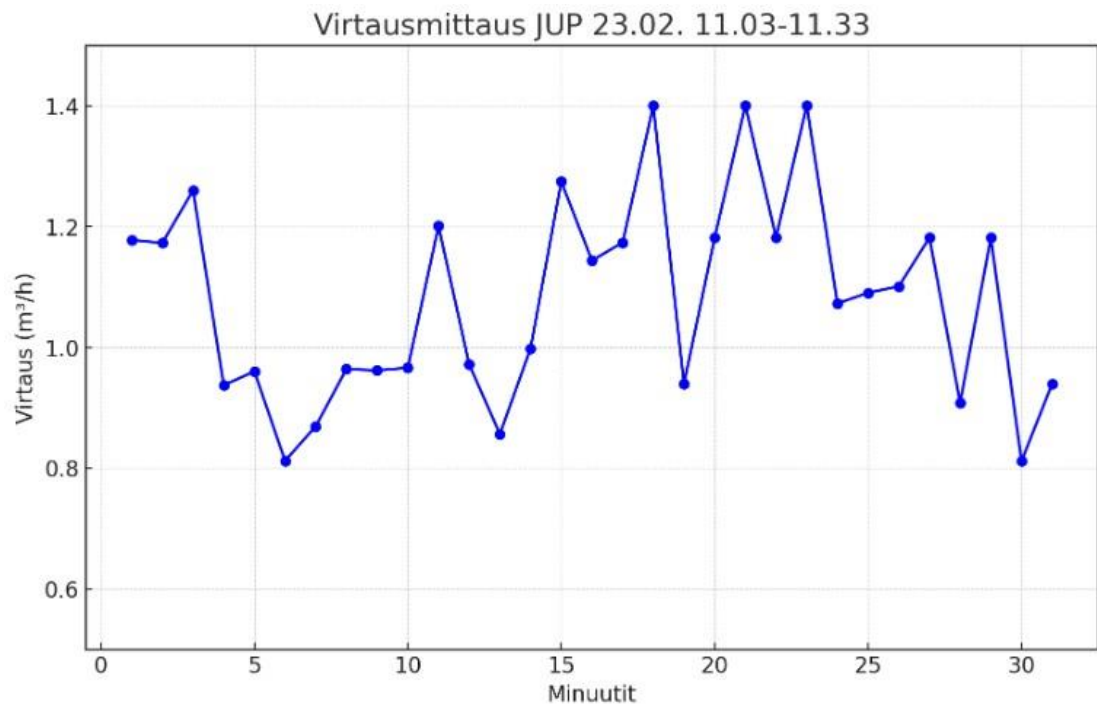
Optical Resolution	10:1 (calculated at 90 % energy)	12:1 (calculated at 90 % energy)
Display Resolution	0.1 °C (0.2 °F)	
Repeatability (% of reading)	±0.8 % of reading or ±1.0 °C (2 °F), whichever is greater	±0.5 % of reading or ±0.5 °C (1 °F), whichever is greater
Power	1 AA IEC LR06 Battery	
Battery Life	10 hours with laser and backlight on	8 hours with laser and backlight on
Weight	255 g (8.99 oz)	
Size	(175 x 85 x 75) mm (6.88 x 3.34 x 2.95) inches	
Operating Temperature	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F)	
Storage Temperature	-20 °C to 60 °C (-4 °F to 140 °F), (without battery)	
Operating Humidity	10 % to 90 % RH non-condensing @ 30 °C (86 °F)	
Operating Altitude	2000 meters above mean sea level	
Storage Altitude	12,000 meters above mean sea level	

LIITE 5: LÄMPÖTILAT MITTAUSTEN AIKANA

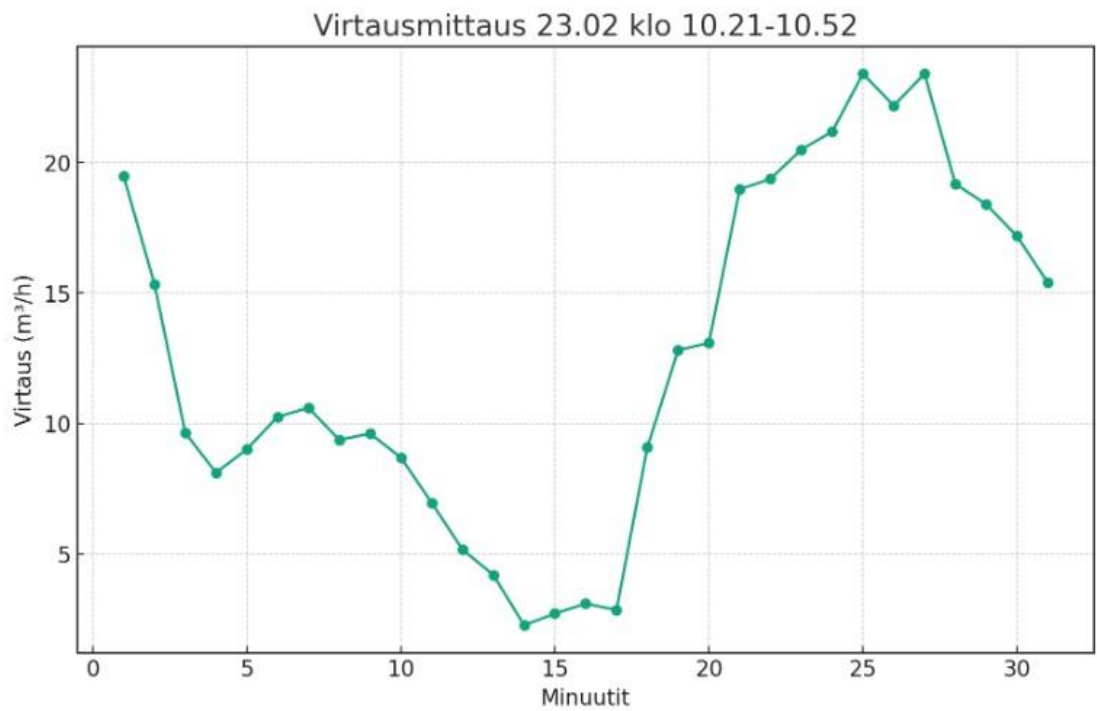


LIITE 7: VIRTAUSMITTAUKSIA

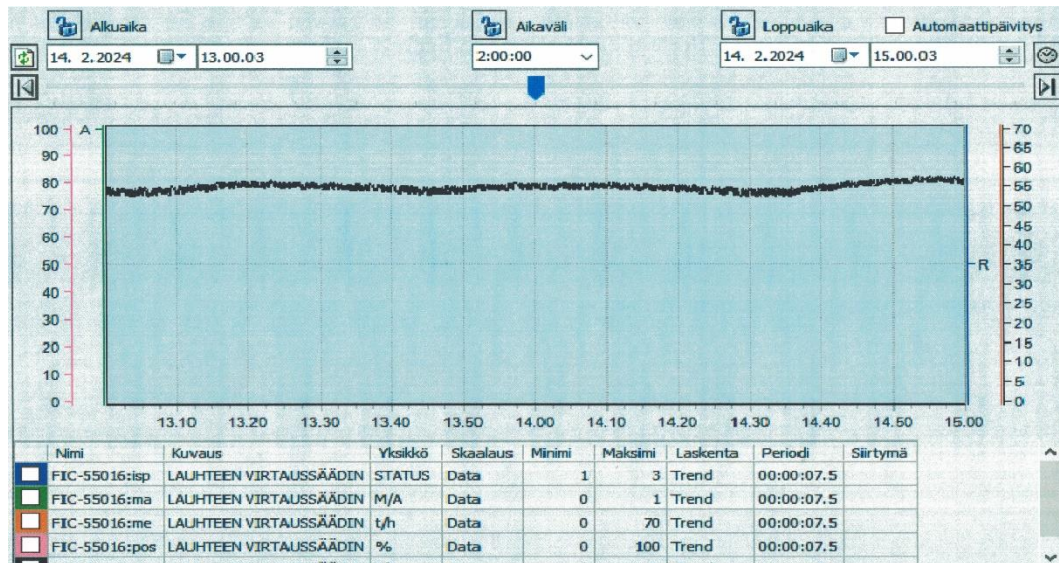




Lisäveden virtausmittaus kolmannella kerralla:



LIITE 8: LAUHTEN MÄÄRÄT MITTAUSTEN AIKANA



LIITE 9: VAHTERUS PSHE 5

VAHTERUS - PLATE & SHELL - ® Täysin hitsattu levylämmönsiirrin Lauhdutin				6.3.2024
Pvm	13.3.2024			
Tarjousnumero	B24-15-3024-1		Tyyppi PSHE 3HH-58/1/1	
Tekijä	VKe			
Asiakas	STEP			
Ref:				
Projekti				
Laitenimi/no.				
Lämpötekninen mitoitus:			Vaippa Ø340	
Teho	kW	1307		
Lämmönsiirtopinta-ala	m ²	4.3		
Logaritminen lämpötilaero	°C	120.7		
K-arvo	W/m ² K	2528		
Likaantumiskerroin	m ² K/W	0.00013000		
Yliimitoitus / -Lämmönsiirtopinta %		>20		
		Levyapuoli	Vastavirta	
		(Kylmä)	Vaippapuoli	
			(Kuuma)	
Sisääntulolämpötilä	°C	25.0	170.0	
Ulostulolämpötilä	°C	70.0	170.0	
Höyrystyslämpötilä	°C		170.0	
Lauhtumislämpötilä	°C		170.0	
Massavirta	kg/h	24999.0	2296.3	
Painehäviö	kPa	22.4	18.0	
Nestetilavuus	dm ³	4.6	7.1	
Virtausaine		Water 47.5 °C	Water Steam 7.922 bar (a)	
Dynaaminen viskositeetti	kg/ms	0.0005726		
Tiheys	kg/m ³	989		
Ominaislämpökapasiteetti	J/kgK	4182.2		
Lämmönjohtavuus	W/mK	0.6401		
Yhteet:	Koko (DN)	Lukumäärä	Nopeus m/s	
Levyapuoli / Sisään	50	1	3.1707	
Levyapuoli / Ulos	50	1	3.1707	
Vaippapuoli / Sisään	100	1	21.071	
Vaippapuoli / Ulos	50	1	0.39774	
<i>Performance is conditioned on the accuracy of customer's data and customer's ability to supply equipment and products in conformity therewith.</i>				

VAHTERUS - PLATE & SHELL - ® Täysin hitsattu levylämmönsiirrin Lauhdutin			6.3.2024
Pvm	13.3.2024		
Tarjousnumero	B24-15-3024-1.1		Tyyppi PSHE 3HH-58/1/1
Tekijä	VKe		
Asiakas	STEP		
Ref:			
Projekti			
Laitenimi/no.			
Lämpötekninen mitoitus:			
Teho	kW	1742	
Lämmönsiirtopinta-ala	m ²	4.3	
Logaritminen lämpötilaero	°C	116.8	
K-arvo	W/m ² K	3484	
Likaantumiskerroin	m ² K/W	0.00003000	
Ylimoitus / -Lämmönsiirtopinta %		>10	
		Levyvuoli	Vaippavuoli
		(Kylmä)	(Kuuma)
Sisääntulolämpötila	°C	20.0	170.0
Ulostulolämpötila	°C	80.0	170.0
Höyrystyslämpötila	°C		170.0
Lauhtumislämpötila	°C		170.0
Massavirta	kg/h	24999.0	3061.6
Painehäviö	kPa	22.2	30.3
Nestetilavuus	dm ³	4.6	7.1
Virtausaine		Water 50 °C	Water Steam 7.922 bar (a)
Dynaaminen viskositeetti	kg/ms	0.000547	
Tiheys	kg/m ³	988	
Ominaislämpökapasiteetti	J/kgK	4182	
Lämmönjohtavuus	W/mK	0.6435	
Yhteet:	Koko	Luku-	Nopeus
	(DN)	määrä	m/s
Levyvuoli / Sisään	50	1	3.1738
Levyvuoli / Ulos	50	1	3.1738
Vaippavuoli / Sisään	100	1	28.092
Vaippavuoli / Ulos	50	1	0.5303
<p><i>Performance is conditioned on the accuracy of customer's data and customer's ability to supply equipment and products in conformity therewith.</i></p>			
Vahterus Oy	Phone +358 (0)2 840 70	E-mail sales@vahterus.com	
Pruukintie 7	Telefax +358 (0)2 840 7299	Internet www.vahterus.com	
FIN-23600 KALANTI			

