



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SAMULI KANGAS

Rikkihappotehtaiden jäähdytysvesien optimointi

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIikka
2022

Tekijä(t) Kangas, Samuli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä joulukuu 2022
	Sivumäärä 35 + 13 liitettä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Rikkihappotehtaiden jäähdytysvesien optimointi		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä <p>Työssä tutkittiin rikkihappotehtaiden jäähdytysvesien optimointia. Jäähdytysvesien prosessissa kesän tuomat lämpimät ilmat ja lämmin jokivesi eivät sido jäähdytysvesien lämpöenergiaa samaan tapaan kuin talvella. Samalla humus muodostaa kerrosta lämmönsiirtimen pinnoille luoden eristeen ja heikentäen lämmönjohtavuutta.</p> <p>Työssä selvitettiin vesitaseen avulla, paljonko jäähdytysvettä haihtuu lämpönä ilmaan ja veden kiertoa järjestelmässä. Normaalitilanteessa järjestelmä kykenee ylläpitämään riittävän jäähdytystehon, mutta kesällä mahdollinen pitkä lämmin jakso ja ennalta arvaamaton prosessihäiriö voivat aiheuttaa tilanteen, missä lämpöä on saatava pois järjestelmästä. Työssä tehtiin koeajo uudella trimmerillä, mikä otettiin ajoin vanhan rinnalle. Trimmeri käyttää toimintaansa suoraan jokivettä eli tällöin jäähdytysvesi ei normaaliin tapaan kulje jäähdytysvesitornien kautta ollenkaan.</p> <p>Koeajo suoritettiin vuosihuollon jälkeen, ja sitä seurattiin yhdeksällä mittauspisteteellä. Huipputeho saavutettiin mittauspisteessä kahdeksan 8,46 MW teholla. Keskiarvollisesti teho oli 4,29 MW. Trimmerin laskennallinen jäähdytysteho on 10 MW ja koeajossa päästiin hyvin lähelle tätä arvoa.</p>		
Asiasanat: Jäähdytys, trimmeri, jokivesi, levylämmönvaihdin		

Author(s) Kangas, Samuli	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2022
	Number of pages 35 + 13 appendices	Language of publication: Finnish
Title of publication The optimization of cooling water in sulfuric acid manufacturing		
Degree programme Energy and Environmental Engineering		
Abstract <p>The thesis investigated the optimization of cooling water in sulfuric acid plants. Due to hot weather and warm river water in the summertime the binding of heat energy into the cooling water is not as effective as it is in the winter. At the same time, humus forms in layers on the surfaces of the heat exchanger, creating insulation and weakening thermal conductivity.</p> <p>The follow-up of the water balance was used in the thesis to find out how much water evaporates into the air and the status of cooling water circulation in the system. In a normal situation, the system is capable of providing enough cooling, but a long warm period and any unpredictable process failure can cause a situation where heat must be removed from the system. In the thesis, a test run was made with the new trimmer, which was put into operation alongside the old one. To operate the trimmer uses river water directly, i.e. the cooling water does not pass through the cooling water towers at all.</p> <p>The test run was performed after the annual maintenance and nine measurement points were taken from the test run. The peak power was reached at measurement point eight, which had an output of 8.46 MW. On average, the power was 4.29 MW. The calculated cooling capacity of the trimmer is 10 MW and during the test run was very close to this value.</p>		
<u>Key words</u> Cooling, trimmer, river water, plate heat exchanger		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 BOLIDEN HARJAVALTA OY	8
3 RIKKIHAPON VALMISTUS	9
3.1 Rikkihappo	9
3.2 Kaasunjako	11
4 PROSESSIN ENERGIA	12
4.1 Prosessin jäähdytys.....	12
4.2 Toiminnan kuvaus	12
5 LÄMMÖNSIIRTO	13
5.1 Lämmönsiirtotavat.....	13
5.2 Lämmönvaihtimen historia.....	13
5.3 Siirtimet.....	14
5.4 Levylämmönsiirrin.....	14
5.5 Spiraalilämmönsiirrin.....	15
5.6 Lamellilämmönsiirrin.....	16
5.7 Putkilämmönsiirrin.....	17
6 JÄÄHDYTYSVESI	18
6.1 Suurteollisuuspuiston vesi.....	18
6.2 Pumppaus suurteollisuuspuistoon	18
7 SELVITYSTYÖ	19
7.1 Selvitys	19
7.2 Tiedon keruun ajankohta.....	19
7.3 Havainnot viime kesän mittauksista.....	19
7.4 Tehtaiden vertailu.....	20
8 KOEAJOSUUNNITELMA	21
8.1 Aloitusseuranta.....	21
8.2 Lämmön jakelu.....	22
9 KOEAJO	23
9.1 Lämmönsiirtimestä poistuvan energia.....	23
9.2 Valmistelut	24
9.3 Tulokset.....	25
9.4 Teho teoriassa.....	27
9.5 Kustannukset	28
9.6 Vaihtimen puhdistus.....	30

10 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
10.1 Teho.....	32
10.2 Kustannukset	32
11 LOPPUPOHDINTA.....	33

LÄHTEET

LIITTEET

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Adiabaattinen	Lämpöä ei tule eikä poistu järjestelmästä ilman mekaanista työtä
Bleed	Aine sivuvirtaa pois järjestelmästä
DNA	Tehtaalla käytössä oleva prosessinohjausjärjestelmä
Endoterminen	Kemiallinen reaktio, joka sitoo lämpöä
Eksoterminen	Kemiallinen reaktio, joka vapauttaa lämpöä
Humus	Luonnonvesien eloperäistä eli orgaanista, hajonnutta tai osittain hajonnutta ainetta
Hulevesi	Rakennetuilta alueilta poisjohdettavaa sade- ja sulamisvettä
Koronailmiö	Prosessi, jossa virta virtaa korkeapotentiaalisesta elektrodista neutraalin nesteeseen, yleensä ilmaan, ionisoimalla nesteen siten, että elektrodin ympärille muodostuu plasma-alue.
NNH Oy	Norilsk Nickel Harjavalta Oy
RHT	Rikkihappotehdas
Redox-reaktio	Hapetus-pelkistysreaktio
STEP Oy	Suomen Teollisuuden Energiapalvelut Oy
VIT	Väli-imeytystorni

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkittiin Boliden Harjavalta OY:n rikkihappoteiden jäähdytysvesien optimointia. Kuparin ja nikkelin sulatuksessa prosessissa muodostuu rikkidioksidipitoisia kuumia kaasuja, mitkä siirtyvät rikkihappotehtaalle, rikkihapon valmistukseen. Prosessissa on monta erilaista vaihetta, missä rikkipitoisia kaasuja jäähdytetään, pestään, kuivataan, kontaktoidaan ja imeytetään. Työssä selvitettiin jäähdytystä, tutkimalla eri tehostamiskeinoja ja vertailemalla vuoden 2021 tietoja touko-kesäkuulta tehtaalla käytössä olevasta DNA-prosessinohjausjärjestelmästä. Saatujen tietojen pohjalta suunniteltiin koeajo vuosihuollon jälkeen, missä otettiin uusi trimmeri vanhan rinnalle ajoon. Saatuja tuloksia hyödynnetään erilaisissa laskuissa, joissa arvioiden tehokkuutta eri tilanteissa.

2 BOLIDEN HARJAVALTA OY

Ennen Boliden-nimeä yritys aloitti nimellä Outokumpu Oy ja kuparin sulatus alkoi Imatralla 1936, mutta siirrettiin sodan jaloista Harjavaltaan 1944 ja vuosi tämän jälkeen tehtiin ensimmäinen kuparivalu. Outokumpu-konsernin yhtiöittäminen alkoi 80-luvulla ja 90-luvulla kupari-nikkeliryhmästä muodostettiin Outokumpu Harjavalta Metals Oy. Vuonna 2000 Outokumpu päätti luopua nikkeliteollisuudesta ja lopulta vuonna 2007 se siirtyi Nornickelin omistukseen ja Outokumpu Harjavalta Metals siirtyi osaksi ruotsalaista Boliden-konsernia vuonna 2004. Boliden toimii Harjavallan suurteollisuuspuistossa monien muiden yritysten rinnalla hyvässä yhteistyössä. Suurteollisuuspuiston alue on noin 300 hehtaaria ja siellä työskentelee yli tuhat ihmistä. Vuonna 2021 Boliden työllisti 550 henkilöä. Samana vuonna tuotettiin kuparikatodia 151 300 tonnia, mikä on uusi tuotantoennätys. (Boliden 2021a.)

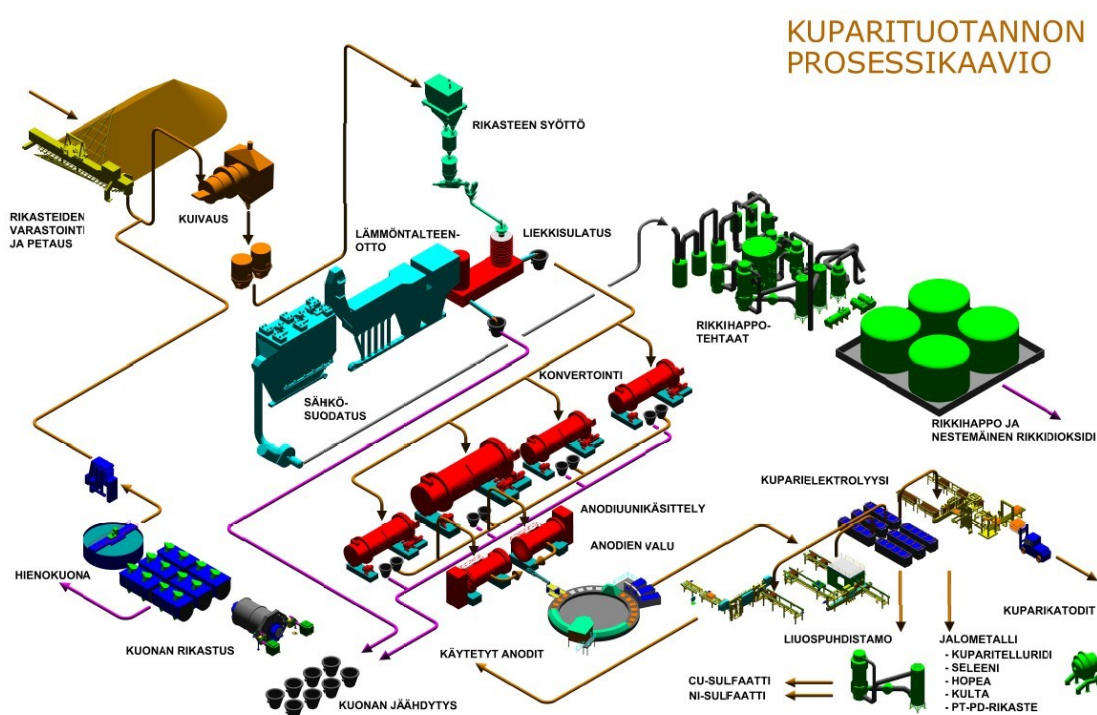
Vuoden 2021 tuotannot Boliden Harjavalta (Boliden 2021a).

- Rikkihappo: 715 000 tonnia
- Kuparikatodia: 151 000 tonnia
- Nikkeli: 19 000 tonnia
- Kulta: 7 000 kiloa
- Hopea: 83 000 kiloa

3 RIKKIHAPON VALMISTUS

3.1 Rikkihappo

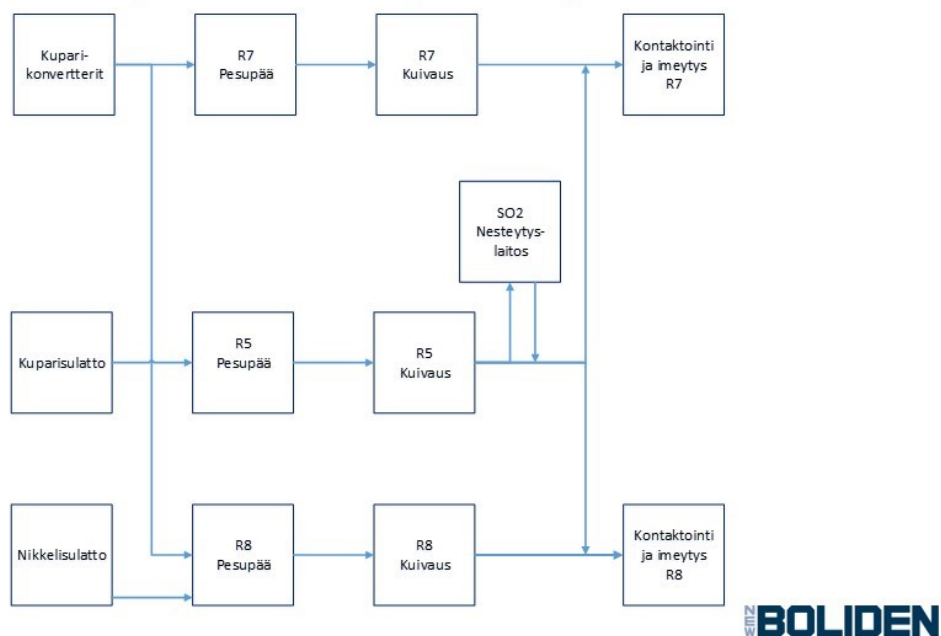
Rikkihappotehtaita on kolme R5, R7 ja R8, mutta niistä voidaan käyttää myös termiä RHT. Rikkihapon valmistus alkaa kupari- ja nikkelisulatoilla, sekä kuparikonverteereilla tulevista rikkipitoisista kaasuista. Kuvassa 1 on pelkistetty kuva kuparintuotantoprosessista. Rikkipitoinen rikaste syötetään uuniin ja ulkopuolelta lisätään happea. Rikin reagoidessa rikasteen kanssa syntyy lämpöä ja rikkipitoisia kuumia kaasuja.



Kuva 1. Prosessikaavio (Tähkä 2022b.)

Kaasu pestään ja jäädytetään adiabaattisesti pesutorneissa. Kaasu jäädytetään, kun pesuhapon sisältämä vesi höyrystyessään sitoo energiaa, kunnes kaasu on kylläinen vesihöyrystä. Pesuhappoa suihkutetaan tulevaa kaasua vastaan ”vastavirtaan”, jolloin kaasun mukana tulevat pölyt ja muut epäpuhtaudet jäävät pesuhapon joukkoon. Pesutorneilta kaasu jatkaa matkaansa märkäsähkösuodattimille. Kaasu kulkee elektrodien ja kollektoriputkien väliseen voimakkaaseen sähkökenttään, muodostaen koronailmiön, jonka jälkeen kaasun sisältämät hiukkaset saavat sähkövarauksen. Sähkövarauk-

Rikkihapon valmistus, Kaasunjako



Kuva 2. Kaasunjako (Tähkä 2022b).

Kuvassa 2 on pelkistetty kuva kaasujen ohjauksesta. Kaasut ohjataan seuraavasti: jäähdytys, pesu, kuivaus, kontaktointi ja imeytys. Kaasuja ohjataan tehtaille riippuen lähtöpaikasta, koska kaasut sisältävät tietyn tyyppisiä epäpuhtauksia, jolloin kaasunjako pitää tehdä kuvan 2 mukaisesti. Tuotannon käydessä täydellä kapasiteetilla on tärkeää, että kaikki tehtaot ovat käytössä ja jäähdytys toimii.

3.2 Kaasunjako

Kuparisulaton kaasut ohjataan R5-pesupäästä kuivaustorniin ja sieltä kontaktoinnin kautta tehtaiden R7 tai R8 väkevään päähän. R5-kuivaus on yhteydessä elohopeanpoistoon, joten tehtaille ohjatut kaasut ovat elohopeapitoisuudeltaan matalia. Kupari-konvertterikaasut ohjataan pääasiassa R7:lle, mutta voidaan ohjata myös R8:lle. Periaatteena pitää R8-tehdas ”täynnä” ja joustaa R7:lla konvertteripuhallusten mukaan. Nikkelisulaton kaasut ohjataan pääsääntöisesti R8-pesupäähän. R8:lla ei ole esikuivaustornia (ja sieltä sivuvirtoina ”bleedinä” haponpuhdistukseen, jossa elohopeapitoisuutta voitaisiin laskea). Oletuksena on, että nikkelisulaton kaasut eivät sisällä merkittäviä määriä elohopeaa. (Tähkä 2022b).

4 PROSESSIN ENERGIA

4.1 Prosessin jäähdytys

Teollisuuden prosessit voivat olla eksotermisiä tai endotermisiä. Eksotermisen on kemiallinen reaktio, joka vapauttaa lämpöä ja endotermisen on lämpöä sitova reaktio. Palamisreaktiot ovat redoksityyppisiä eli hapetus-pelkistysreaktioita, jotka ilmenevät, kun yksi tai useampi aine reagoi hapen kanssa, mikä johtaa yleensä lämpöenergian vapautumiseen, kun liekki tuotetaan. (Thpanorama, n.d.) Näissä prosesseissa on yleensä käytössä lämmönvaihtimet, joiden tarkoitus on siirtää lämpöä ainevirrasta toiseen joko lämmittäen kylmää tai viilentäen kuumaa. Suurimpia kustannuksia prosessissa on energian käyttö varsinkin, jos se ostetaan toiselta yritykseltä. Tämä aiheuttaa aina ylimääräisiä kustannuksia. Tämän seurauksena on hyvä käyttää erilaisia lämmönsiirtimiä poistaen lämpöä sieltä missä sitä ei tarvita ja kuljettaa ylimääräinen lämpö sinne missä sitä tarvitaan. Lämpöä kuitenkin syntyy kesällä merkittävästi, joten ainoa vaihtoehto silloin on haihdutus ilmaan. Hyvänä esimerkkinä lämmön hyödyntämisestä mainittakoon alipainehaihduttamo, mikä ottaa tarvitsemansa lämpönsä RHT8:n väli-
vesi-imeytystornilta, mutta voidaan myös ottaa RHT7:n välivedestä.

4.2 Toiminnan kuvaus

Lämmönvaihtimen toisella puolella on lämmin virtaus ja toisella puolella levyjä on kylmä virtaus, lämpö siirtyy johtumalla lämpimästä kylmään levyn kautta. Jäähdytystehoa voidaan nostaa kasvattamalla kylmänveden virtausnopeutta ja lisäämällä levyjen määrää vaihtimella, jos tulevan jäähdytysveden lämpötilaa ei voi muuten laskea. Halvin jäähdytysvesi on yleensä jokivesi tai merivesi, ja näihin vaikuttaa vuodenajat. Yleensä kesällä, kun jäähdytyksen tarve on suuri niin samalla myös jokiveden lämpötila on korkeimmillaan. Samalla kun jokivesi on lämmintä niin vedessä liikkuu humusta. Sateet kasvattavat humuksen määrää joessa, kun hulevedet kuljettavat lisää humusta maasta jokeen. Humus on osana suomalaisia vesistöjä, mikä on orgaanista hajonnutta tai osittain hajonnutta ainetta ja humus kasaantuu lämmönsiirtimien levyjen pinnoille luoden eristeen. (Kokemäenjoki ELY-keskus, n.d.)

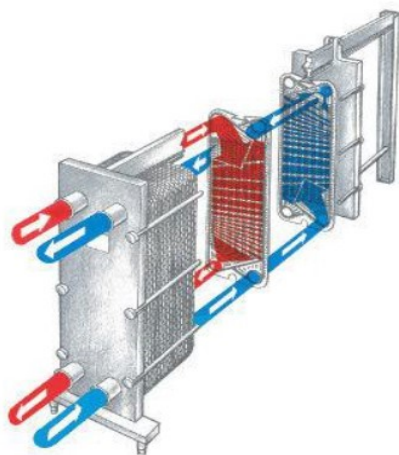
5 LÄMMÖNSIIRTO

5.1 Lämmönsiirtotavat

Lämmönsiirtotapoja on erityyppisiä. Valintaan kuitenkin vaikuttaa kuinka lämpöä siirretään pois prosessista. Lämpöä voidaan siirtää nesteestä nesteeseen, kaasusta kaasuun tai edellä mainittujen olomuotojen sekoituksella, nesteestä kaasuun esimerkkinä jäähdytinviesitorni. Lämpöä voidaan siirtää kolmella tavalla pois. Johtumalla (konduktio) lämpö liikkuu paikallaan olevan väliaineen sisällä atomien kautta toisiinsa johtuen. Konvektiolla lämpö siirtyy virtaavan aineen mukana sekoittuen, koska kylmä on tiheämpää kuin kuuma, niin se laskeutuu alas ja kuuma taas kohoaa ylös, hyvänä esimerkkinä vesikiertoinen patteri. Säteilyllä lämpö siirtyy ihmissilmälle näkymättömänä infrapunasäteilynä ilman kontaktia. Lämmönsiirto on lämpötilaerosta johtuvaa siirtoenergiaa aineesta toiseen. (Moran, ym. 2003, 342.)

5.2 Lämmönvaihtimen historia

Ensimmäisen maailmanlaajuisesti kaupallisesti menestyneen levy- ja runkolämmönvaihtimen esitteli vuonna 1923 Tri Richard Seligman, APV:nä tunnetun Aluminium Plant and Vessel Company Ltd:n perustaja. Ensimmäinen Paraflow levy- ja runkolämmönvaihdin rakennettiin valumetallilevyistä ja suljettiin kehykseen, joka asetti standardin nykypäivän tietokoneella suunnitellulle ohuelle metallilevylämmönvaihtimelle, joka tunnetaan ympäri maailmaa. (Sölken, n.d)



Kuva 3. Lämmönvaihdin virtaukset (KL-Lämpö, n.d.)

Kuvassa 3 näkee kuinka virtaukset lämmin (punainen) ja kylmä (sininen) virtaavat. Virtaus on vastavirtaan, koska tällöin jäähdytys tai lämmitys on tehokkaampaa kuin myötävirtaan.

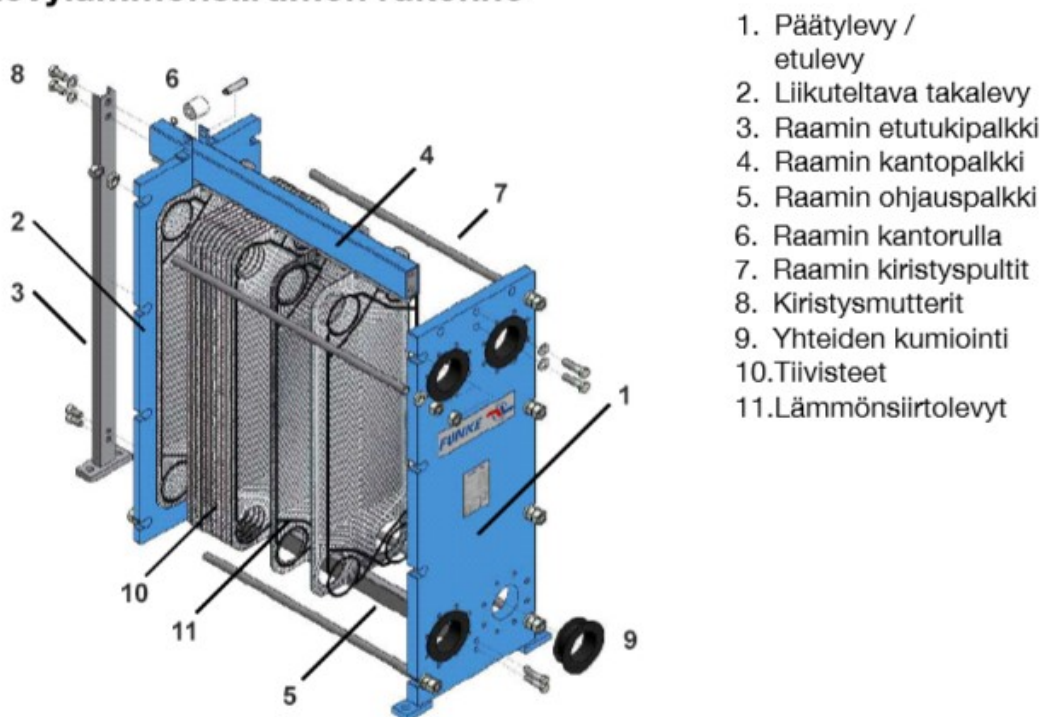
5.3 Siirtimet

Lämmönsiirtimiä on monenlaisia ja niiden rakenteet määrittelevät minkälainen lämmönsiirrin on kyseessä. Perustyyppisiä lämmönsiirtimiä ovat seuraavat: levylämmönsiirrin, spiraalilämmönsiirrin, lamellilämmönsiirrin ja vaippaputkilämmönsiirrin. Valintaan vaikuttaa väliaine, lämpötila, paine, korroosiokesto, likaantumisherkkyys ja tietysti hinta. Lämmönsiirtimen pitää olla myös helposti huollettava, sillä hyvällä huollolla ja puhdistuksella voidaan minimoida mahdollisia ongelmia. (KL-Lämpö, n.d.)

5.4 Levylämmönsiirrin

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa (kuva 4) on nähtävissä levylämmönsiirtimen rakenne ja kuinka se voidaan kasata. Levylämmönsiirrin on helposti huollettava. Levylämmönsiirrin otetaan eroon prosessista ja tyhjennetään. Levyjä paikallaan pitää 4 kappaletta raamin kiristyspultteja, kun pultit on avattu, levyt liikkuvat irti toisistaan. Levyt kannattaa puhdistaa irrottamatta niitä rungosta, mikä on yksi syy siihen, miksi levylämmönvaihdin kannattaa asentaa paikkaan, jossa sen ympärillä on runsaasti tilaa liikkua. (Mueller 2019.) Levypakan kiinni laittaminen on kriittinen vaihe, tässä vaiheessa levyt tai tiivisteet voivat vaurioitua, mutta vasta kun pakka on kiinni ja vesi laitettu virtaamaan, voidaan paikantaa rikkiäinen levy. Tämä pakka pysyy kasassa raamin kiristyspulteilla ja pultteihin on määritetty, kuinka paljon pultteja saa kiristää. Yksinkertaisuudessaan tämä on monesti paras vaihtoehto, hinnallisesti ja laadullisesti. On myös olemassa malleja, missä levyt ovat hitsattu yhteen, mutta silloin levyjen lisääminen tai puhdistus on hankalaa ja kallista.

Levylämmönsiirtimen rakenne



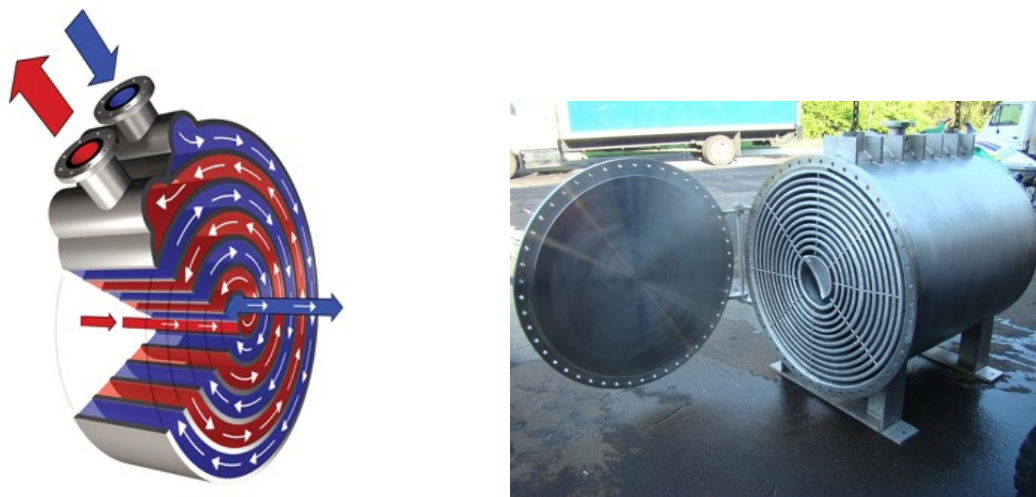
1. Päätylevy / etulevy
2. Liikuteltava takalevy
3. Raamin etutukipalkki
4. Raamin kantopalkki
5. Raamin ohjauspalkki
6. Raamin kantorulla
7. Raamin kiristyspultit
8. Kiristysmutterit
9. Yhteiden kumiointi
10. Tiivisteet
11. Lämmönsiirtolevyt

Kuva 4. Levylämmönsiirrin (ViFlow Finland Oy, n.d.)

Paras tapa puhdistuksen suorittamiseen kuitenkin on kiertopesu, missä lämmönsiirrin otetaan eroon prosessista. Pesuun kuluva aika riippuu täysin siitä, kuinka likainen vaihdin on ja vaihtimen koko. Aika vaihtelee muutamasta tunnista yli vuorokauden kestävään pesuun. Keskustelin monen ammattilaisen kanssa ja tilanteet vaihtelevat vuoden mittaan ja pesuun tarvittava aika arvioidaan, kun lämmönsiirrin otetaan eroon. Myöhemmin esitetään Kuvassa 15 koeajossa käytetyn siirtimen pesulinjojen liitettä paikat ja venttiilit mitkä pitää sulkea.

5.5 Spiraalilämmönsiirrin

Spiraalilämmönsiirrin toimii samalla tavalla kuin levylämmönsiirrin, mutta ulkoinen olemus ja sisällä olevat levyt ovat erilaisia. Spiraaligeometria, jossa on yksi kanava kullekin väliaineelle ja jatkuva kaareutuminen, sopii erittäin hyvin nesteisiin, jotka yleensä aiheuttavat likaantumista. Tämä rakenne johtaa suureen virtauksen turbulenssiin ja suureen leikkausjännitykseen, mikä vähentää huomattavasti likaantumiseriskiä. (Alfa Laval, n.d.)



Kuva 5. Spiraalilämmönsiirrin (Alfa Laval, n.d.)

Kuvassa 5 on nähtävissä virtaus suunnat, miten virtaukset liikkuvat vastavirtaan ja spiraalilämmönsiirrin näyttää, kun pääty on avattu.

5.6 Lamellilämmönsiirrin

Lamellilämmönsiirrin muistuttaa ulkoisesti putkilämmönsiirrintä, mutta putkien tilalla lämmönsiirtimessä on lamellit. Tämän kaltainen muotoilu mahdollistaa myös kovat virtausnopeudet luoden turbulenttisen virtauksen ja ”puhdistaa” lamellin pintoja mahdolliselta lialta (Motiva, n.d.) Kuvassa 6 on nähtävissä lamellilämmönsiirrin, mikä muistuttaa hyvin paljon ulkoisesti putkilämmönsiirrintä mikä on nähtävissä seuraavalla sivulla kuvassa 7.

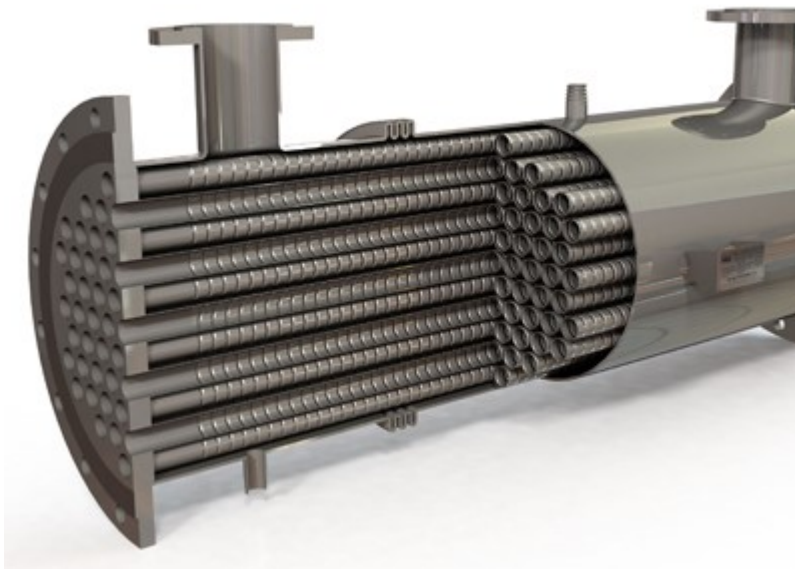


Kuva 6. Lamellilämmönsiirrin (Sondex Tapiro Oy Ab, n.d.)

Putkilämmönsiirrin on yleisempi teollisuudessa esiintyvä tyyppi kuin lamellilämmönsiirrin. Sitä käytetään laajasti prosessiteollisuudessa sekä monenlaisissa LVI-laitteissa.

5.7 Putkilämmönsiirrin

Kuvassa 7 on vaippaputkilämmönsiirrin, putket alkavat samalta puolelta mihin ne myös päättyvät, päädyssä nämä erotetaan toisistaan levyn avulla. Tämä mahdollistaa sen, että virtaus tekee pitkän lenkin, hyödyntäen pinta-alan täysin jäähdytyksessä.



Kuva 7. Putkilämmönsiirrin (Wheeler 2020.)

Putkien määrä sisällä vaihtelee, riippuen täysin millaista lämmönsiirtokerrointa halutaan lämmönsiirtimeltä. Pituus kasvaa samalla kuin putkien määrä, tällöin geometrisesti myös lämmönsiirron pinta-ala. (IQS Directory, n.d.)

6 JÄÄHDYTYSVESI

6.1 Suurteollisuuspuiston vesi

Suurteollisuuspuisto sijaitsee Harjavallassa ja käyttää Kokemäenjokea raakaveden lähteenä puistossa. Raakavesi on joesta pumpattua karkeasti suodatettua vettä. Monet yritykset käyttävät raakavettä omissa prosesseissaan joko raakana tai vielä paremmin puhdistettuna, Boliden käyttää raakavettä jäähdytyksessä. Kokemäenjoen alkupää sijaitsee Pirkanmaalla Sastamalan Liekoveden yhdistäen Huittisen, Kokemäen, Harjavallan, Nakkilan, Ulvilan ja laskien lopulta Selkämereen Porista. Kokemäenjoki kuuluu yhteen Suomen merkittävimmistä jokivesistöissä, jossa on kalastuksen kannalta monipuolinen kalakanta, sekä monipuoliset veneily ja melonta mahdollisuudet. Keskivirtaama joessa on $240 \text{ m}^3 / \text{s}$, joen pituus on 112 km ja putoamiskorkeus on 57,5 m (Kokemäenjoki ELY-keskus, n.d). Jokeen lasketaan suurteollisuuspuiston puhdistetut prosessivedet ja hulevedet. Tulevaa ja lähtevää vettä seurataan ja suoritetaan päivittäin analyysit veden laadusta.

6.2 Pumppaus suurteollisuuspuistoon

Suomen Teollisuuden Energiapalvelut OY (STEP Oy) voimalaitos pumppaa raakaveden alueelle ja myös valmistajokivedestä vaatimukset täyttävää ionivaihdettua sekä kattilavettä omaan käyttöön sekä eri asiakkaille. Raakaveden seulomisessa on kaksi vaihetta: välppä ja rumpusuodin. Välppän tehtävä on estää isompien asioiden kulkeutuminen siivilään kuten oksat ja kalat. Rumpusuodin seuloo madot ja muut pienet toukat, päästäen kuitenkin osan humuksesta läpi.

7 SELVITYSTYÖ

7.1 Selvitys

Ensimmäinen vaihe työssä oli selvittää tornien jäähdytyskapasiteetti kesän aikana, koska jäähdytys on enemmän koetuksella kesällä kuin talvella. Tähän on kaksi pääsyytä, veden lämpötila ja likaantuvat lämmönsiirtimet. Jokiveden lämpötilan nousu heikentää sen kykyä sitoa lämpöä, ja lämmönsiirtimiin kerääntyvä humus luo eristeen mikä heikentää lämmön siirtymistä veteen. Ensin kartoitettiin vanhan vesitaseen (liite 1) kautta järjestelmän toiminta täydellä kapasiteetilla, jokiveden lämpötilan ollessa 20 °C ja virtauksen määrä 2130 m³/h sisään ja ulos. Vanha vesitase on vuodelta 1994 ja tehdasta on päivitetty matkan aikana. Tarkistuksen myötä lähdetään vertailemaan nykyistä tilannetta, pysyväkö virtausmäärät ja lämpötila suhteellisen lähellä oletusta.

7.2 Tiedon keruun ajankohta

Ajankohtana tiedon keruulle valittiin vuoden 2021 touko-elokuu, koska viime vuoden kesä oli poikkeuksellisen lämmin. Heinäkuussa tapahtunut tulipalo pysäytti toiminnan hetkeksi, mikä on havaittavissa RHT 7 ja 8 liitteissä (liite 4 ja 8), missä menovirtaus ja haihtuvuus tippuu arvoon nolla. Elokuulla alkanut vuosihuolto näkyy samalla tavalla myös liitteissä (liite 5 ja 9), missä menovirtaus, lisävesi ja bleed menevät nolnaan.

7.3 Havainnot viime kesän mittauksista

Toukokuussa alkoivat lämpimät ilmat, mikä vaikutti lämmittäen jokivettä, eikä se sen takia sitonut enää tehokkaasti lämpöä. Jäähdytysveden virtauksen keskiarvo toukokuussa oli 2121 m³/h ja jäähdytysveden menolämpötila keskiarvo oli 24,26 °C ja paluulämpötila keskiarvo oli 33,5°C, virtaus määrät ja lämpötilat kasvoivat syksyä kohti voimakkaasti molemmissa tehtaissa. RHT 7 kesäkuun viimeisenä viikkona (liite 3) virtausmäärät kävivät useana päivänä maksimi arvoissa, 5000 m³/h. Tässä oli havaittavissa lämmin ja kuiva ilma, kun menoveden lämpötila oli myös korkea. Heinäkuuta kohti menoveden lämpötila oli laskussa, ja haihtuvuus viimeisenä viikkona keskiarvillisesti korkeampi 43m³/h.

7.4 Tehtaiden vertailu

Vanhempi RHT 7, joka rakennettiin 1995 ja uudempi RHT 8 2019, ikäeroa on 24 vuotta. RHT 7 on osittain uusittu ja päivitetty matkan varrella (Louie 2019.) Vuoden 2021 toukokuusta elokuuhun oli poikkeuksellisen lämmintä, mikä on hyvin havaittavissa molemmilla tehtailla. Kesäkuun lopussa tehtyjen havaintojeni perusteella RHT 7 (liite 3) jäähdytysveden menovirtaus on käynyt maksimiteholla 5000 m³/h, kun taas uudemmalla tehtaalla RHT 8 (liite 7). RHT 8 on monelta osin vakaammat käyrät yhtä poikkeusta luukuunottamatta, mikä oli lisävesi jäähdytykseen, koska lämpö sitoutuu tällöin veteen ja haihtuu pois. Suuren haihtuvuuden takia RHT 8:n kiertoon oli saatava lisää vettä, kesäkuukauden haihtuvuus keskiarvo on laskettavissa lisäveden ja vuodon kuukausikeskiarvon erotuksella $(67,72 - 25,05) \text{ m}^3/\text{h} = 42,67 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lämmön talteenotto			
Tuotanto		Käyttö	
VIT	20.3 MW	NI	0.5 MW
LIT	5.18 MW	VAC	2.9 MW
ECO	6.3 MW	CITY	8.8 MW
TRIM	9.0 MW	AGRO	0.58 MW

Lämmön talteenotto			
Tuotanto		Käyttö	
VIT	15.7 MW	NI	-0.0 MW
LIT	5.76 MW	VAC	0.2 MW
ECO	7.4 MW	CITY	1.6 MW
TRIM	30.6 MW	AGRO	0.07 MW

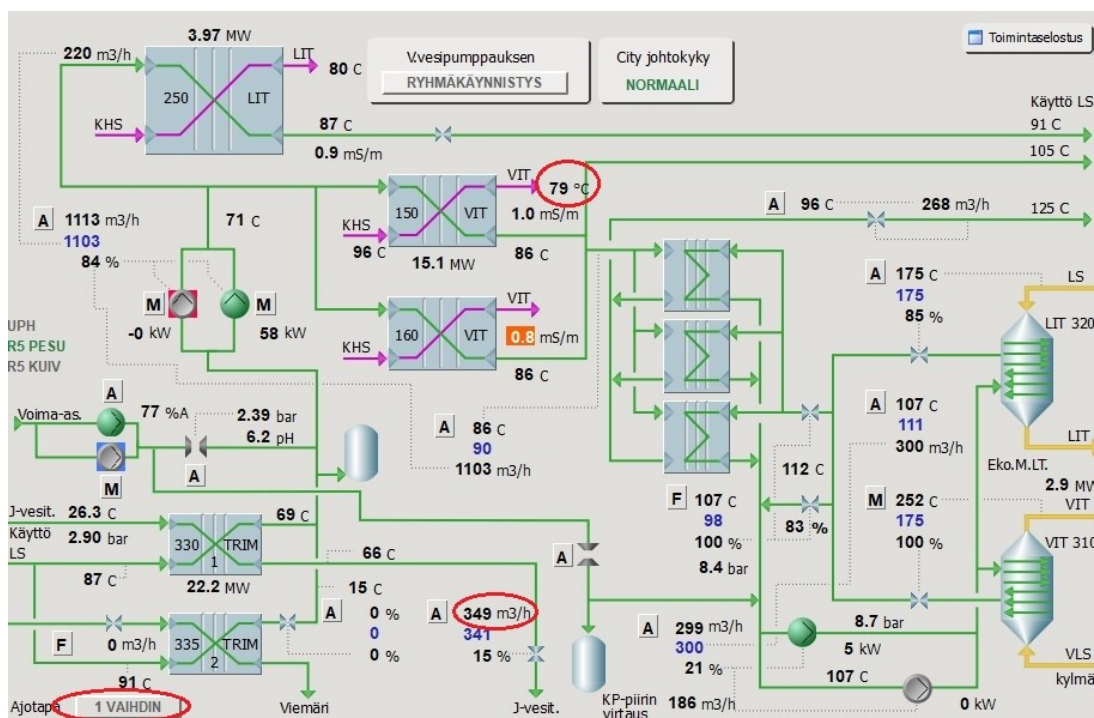
Kuva 8. Tammikuu(vas.) ja kesäkuu(oik.) (Boliden 2022b.)

Liitteiden (6–9) perusteella, voidaan todeta uudemman tehtaan RHT 8 jäähdytinviesitorien kykenevän hyvin jäähdyttämään (haihduttamaan) vettä, koska käyrästä on tasaisempaa verrattuna RHT 7. Vanhemman tehtaan RHT 7 liitteiden (2–5) on enemmän vaihtelevuutta ja samalla menovirtaus käy maksimiteholla, eli tältä osin jäähdytystehoa olisi parannettava. Yllä olevissa kuvissa (kuva 8) on nähtävissä, kuinka paljon lämpöä tehollisesti tuotetaan ja paljonko lämpöä menee hyötykäyttöön tammi- ja kesäkuussa. Tammikuussa lämpöä siirtyy kaukolämpönä Harjavallan kaupunkiin (CITY), ja kesäkuulla lämpö haihtuu vesitorien kautta ilmaan.

8 KOEAJOSUUNNITELMA

8.1 Aloitusseuranta

Uudempi trimmeri (Trimmeri 2) oli vuosihuollon jälkeen käyttöönottovalmiudessa ja kun virtausnopeus kasvaa riittävästi 1800 m³/h. Venttiilit aukeavat ja vedet virtaavat piirissä. Tämä trimmeri käyttää suoraan raakavettä, jonka jälkeen vesi menee viemärin kautta jokeen jättäen jäädytinvesitornit väliin. Työssä seurattiin molempien trimmereiden tehoa, lämpötilaa ja virtausnopeutta Liitteessä (liite 9) on esimerkki kesäkuulta 2021, kuinka paljon lämpöä liikkuu yhden trimmerin kautta keskiarvallisesti 19,9 MW/h, tämän laskeminen tullaan käymään perusteellisemmin läpi seuraavassa kappaleessa.

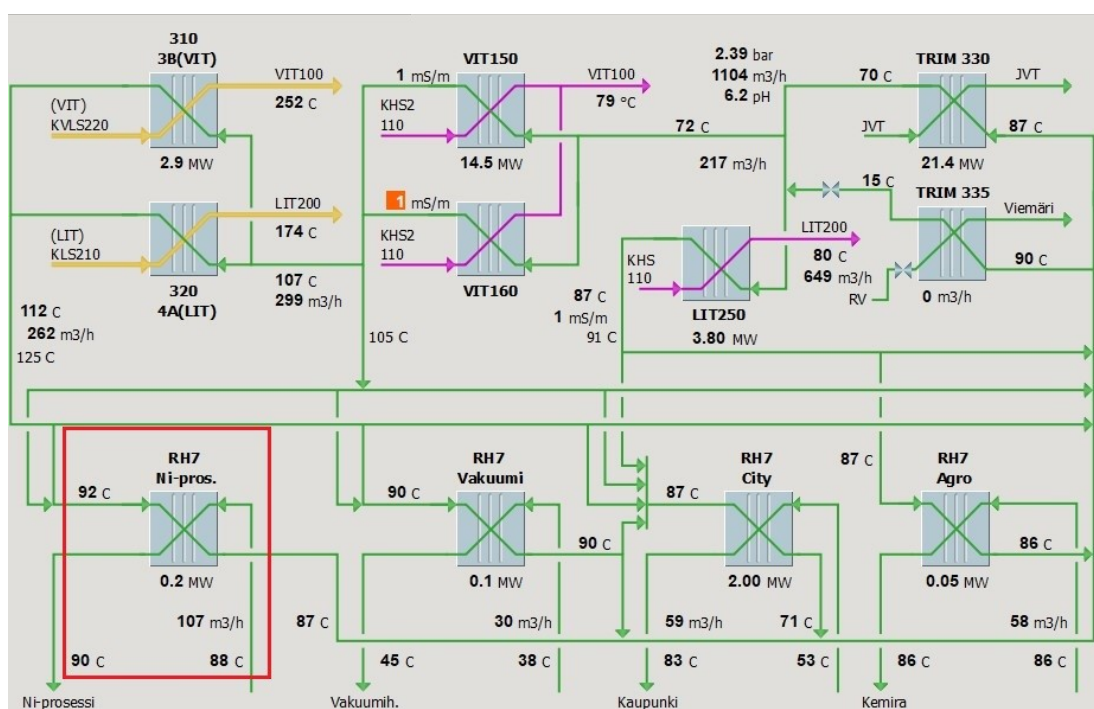


Kuva 9. RHT 7 lämmön talteenotto (Boliden 2022b.)

Yllä olevassa kuvassa nähdään, kuinka vesi virtaa ainoastaan vanhempaan trimmeriin (Trimmeri 1), koska ajotavaksi on valittu ”1 vaihdin” silloin vain yksi trimmeri jäädyttää. Lämpimänä päivänä ja tuotannon kasvaessa valitaan ajotavaksi ”2 vaihdin”, automaatti valvoo virtausmäärää ja VIT:iltä (Väli-imeytystorni) lähtevää lämpötilaa ja tavoittelee lämpötilaksi alle 80°C. (Boliden 2022b).

8.2 Lämmön jakelu

Lämpöä hyödynnetään niin paljon kuin on mahdollista, mutta kesällä lämpöä on saatavilla enemmän, kun sille ei ole tarvetta ja jäädytinvestorit hahduttavat ylimääräisen lämmön pois. Tietyntylaiset seisakit, kuten kaukolämmönsiirrossa tai toisen yrityksen odottamattomasta prosessihäiriöstä voivat aiheuttaa tilanteen, jossa lämpöä on siirrettävä nopeasti pois järjestelmästä. Esimerkkinä Norilsk Nickel Harjavalta Oy (NNH) tai STEP:n mahdollinen toimintahäiriö, jossa asiakas ei pysty vastaanottamaan lämpöä johtuen heidän omasta prosessihäiriöstä, tai yrityksessä tapahtuvassa prosessihäiriöstä.



Kuva 10. RHT 7 lämmön talteenotto 2 (Boliden 2022b.)

STEP, mikä valmistaa höyryn VIT150 / 160 tuottamastaan prosessilämmöstä, tämän vuoksi myös jäädytystä on hyvä tehostaa. Mikäli lämpötila nousee yli 80°C VIT150 putki vaurio riski kasvaa. Yllä olevassa kuvassa (kuva 10) on rajattu punaisella VIT150 tuleva lämmin vesi siirtyy RHT7 Ni-prosessiin.

9 KOEAJO

9.1 Lämmönsiirtimestä poistuvan energia

Jäähdytysvesitorneihin vesi siirtyy vanhemman trimmerin (1) kautta ja uudemman trimmeri (2) vesi menee suoraan jokeen. Prosessinohjausjärjestelmästä pystytään seuraamaan, paljonko megawateissa energiaa haihtuu veden mukana ilmaan. Uudemmassa trimmerissä ei ole vielä nähtävissä DNA-prosessinohjausjärjestelmän kautta, paljonko lämpöenergiaa virtaa jokeen, mutta se voidaan kuitenkin laskea käyttäen hyödyksi veden ominaislämpökapasiteettia. Vaadittava energia mitä 1°C korotus 1 kg vettä kohden on 4.2 kJ.

$$Q_1 = m_v c_v (t_{1s} - t_{1u}) \quad (1)$$

Q_1 = kuuman veden luovuttama lämpömäärä, W

m_v = veden massavirtaus, kg/s

c_v = veden ominaislämpökapasiteetti, J/(kg°C)

t_{1s} = lämpimän veden sisäänmenolämpötila, °C

t_{1u} = lämpimän veden ulostulolämpötila, °C

Kylmän veden vastaanottama lämpömäärä on

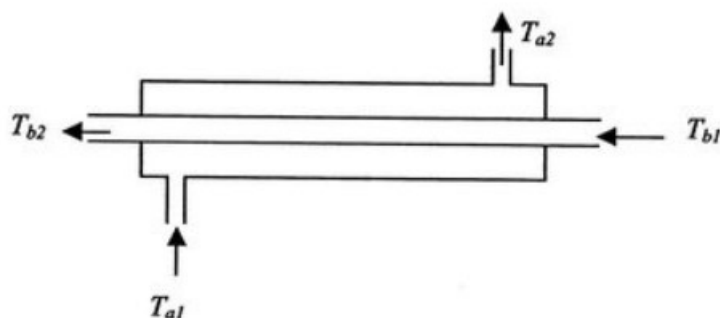
$$Q_k = m_v c_v (t_{ku} - t_{ks}) \quad (2)$$

Q_k = kylmän veden vastaanottama lämpömäärä, W

t_{ks} = kylmän veden sisäänmenolämpötila, °C

t_{ku} = kylmän veden ulostulolämpötila, °C

Teoriassa kuuman veden luovuttamien ja kylmän veden vastaanottamien lämpöma-
rien tulisi olla yhtä suuria, mutta tosiasia on, että lämmönsiirtimessä esiintyy aina läm-
pöhäviöitä. (Pihkala 2013,103).



Kuva 11. Vastavirtalämmönsiirrin (Spakovszky 2007).

Vastavirtalämmönsiirrin yllä olevassa pelkistetyssä kuvassa 11, missä merkit tarkoittavat seuraavaa.

T_{a1} = tuleva jäähdytys neste

T_{a2} = lähtevä lämmennyt neste

T_{b1} = tuleva kuuma neste

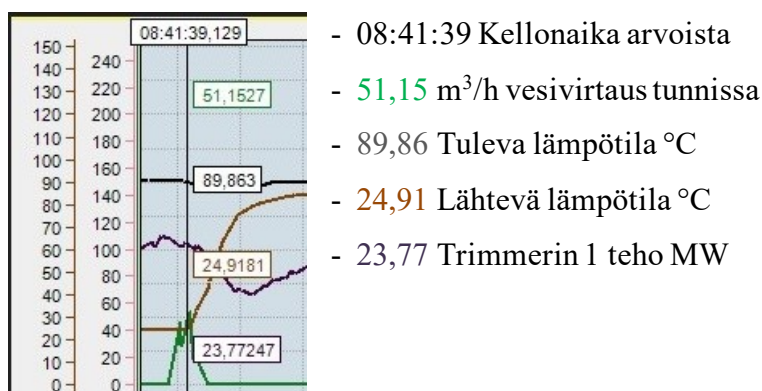
T_{b2} = lähtevä jäähtynyt neste

9.2 Valmistelut

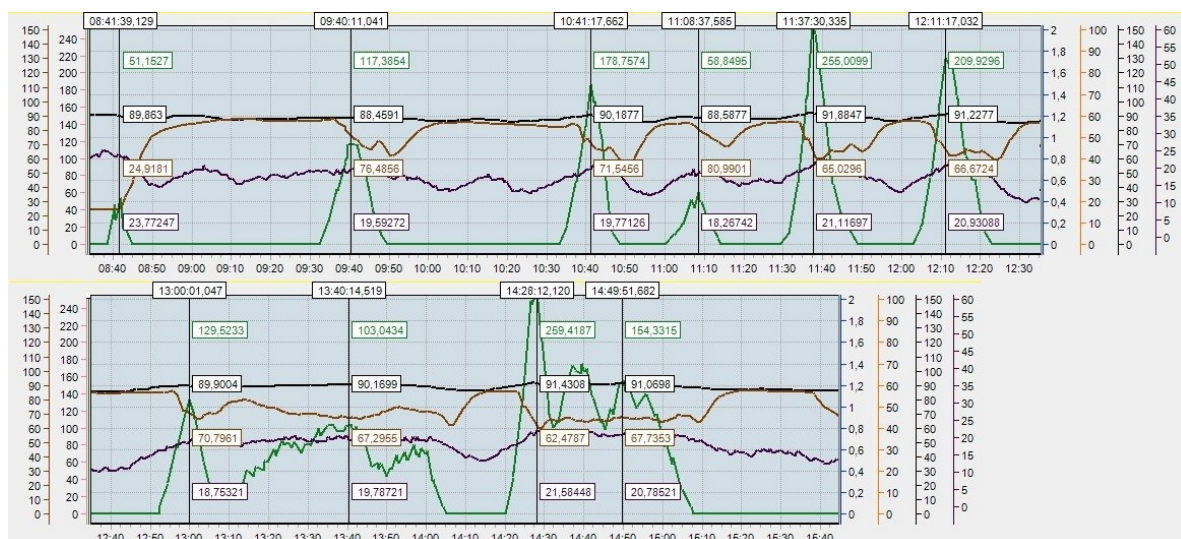
Ensin suoritettiin pieni koeajo ja tämä vaati erikoisjärjestelyitä, koska jokiveden lämpötila oli testin suorittamisen kannalta alhainen ja kykeni hyvin jäähdyttämään, jolloin lisäjäähdytys ei olisi lähtenyt päälle. Trimmeri 2 lähtee mukaan vasta kun virtaus nopeus trimmeri 1 kasvaa $1800 \text{ m}^3/\text{h}$, tarkoittaen että lämpötila ei lähde tehokkaasti laskemaan alas. Prosessinohjausjärjestelmää oli muokattava alentamalla vaadittavaa virtaus nopeutta pienemmäksi, että trimmeri 2 lähtee mukaan jäähdytykseen. Tämä testi suoritettiin 9.8.2022, ja tällä haluttiin varmistaa laitteiden sekä venttiilin toimivuus mahdollisessa tilanteessa missä tarvitaan nopeasti jäähdytystä. Varsinainen koeajo suoritettiin seuraavalla viikolla 17.8.2022, ja tämä alkoi 08:45 ja päättyi 15:05, kokonaisaika 6 h 20 min.

9.3 Tulokset

Koeajon tulokset ovat nähtävissä seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1, alla olevissa kuvissa (kuvat 12 ja 13) ja ovat peräisin prosessinohjausjärjestelmästä (DNA.) Lukemat ovat ylhäältä alaspäin, ja värit pysyvät samoina helpottaen lukemista. Ensimmäinen mittaus missä vesi lähti virtaamaan trimmerin läpi, lähtevä lämpötila on matala, koska vesi on seissyt putkessa.



Kuva 12. DNA koeajo aloitus (Boliden 2022b.)



Kuva 13. Koeajo (Boliden 2022b.)

Kuvan 13 mittauspisteitä on kymmenen, mutta koska lämmönvaihdin ei ole ollut käytössä niin ensimmäistä mittauspistettä ei otettu mukaan käytän tehon laskemisessa. Vasta toisessa mittauspisteessä alkoi koeajo, kun lämpötila on vakaantunut, jolloin näistä saadaan luotettavampia arvoja.

Ensimmäinen vaihe on muuntaa m³/h yksikköön l/h ja tämän jälkeen laskea lämpötilaero tulevasta ja lähtevästä vedestä. Kun nämä kaksi arvoa on saatu, voidaan ne yhdistää kaavaan 1. Yhden kilogramman eli litran vettä lämmittämiseen yhden asteen verran kuluttaa 4,186 kJ energiaa pyöristäen 4,2 kJ.

Taulukko 1. Koeajon mittaukset

Mittaus kerta	m ³ /h	l/h	Tuleva lämpötila °C	Lähtevä lämpötila °C	Lämpötilaero
1	117,3854	117 385,40	88,45	76,48	11,97
2	178,7574	178 757,40	90,18	71,54	18,64
3	58,8495	58 849,50	88,58	80,99	7,59
4	255,0099	255 009,90	91,88	65,02	26,86
5	209,9296	209 929,60	91,22	66,67	24,55
6	129,5233	129 523,30	89,90	70,79	19,11
7	103,0434	103 043,40	90,16	67,29	22,87
8	259,4187	259 418,70	91,43	62,47	28,96
9	154,3315	154 331,50	91,06	67,73	23,33

Mittaus kerta	kJ	kW	MW	Trimmerin 1 jäähdytysteho MW Vertailu
1	5 901 434	1639,29	1,64	19,59
2	13 994 559	3887,38	3,89	19,77
3	1 876 004	521,11	0,52	18,26
4	28 768 177	7991,16	7,99	21,11
5	21 645 841	6012,73	6,01	20,93
6	10 395 799	2887,72	2,89	18,75
7	9 897 731	2749,37	2,75	19,78
8	31 553 615	8764,89	8,76	21,58
9	15 122 326	4200,65	4,20	20,78

Esimerkkilasku mittauspiste 1 käyttäen kaavaa 1.

$$117\,385,4 \text{ kg} * 4,2 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} * (88,45 - 76,48) ^\circ\text{C} = 5\,901\,433,5 \text{ kJ}$$

Muunnos kJ → kW

$$5\,901\,433,5 \text{ kJ} / 3600 \text{ s} = 1\,639,29 \text{ kW} \rightarrow 1,64 \text{ MW}$$

Vertailun vuoksi kaavioon on lisätty myös trimmerin 1 teho, missä mittauspiste 1 kohdassa trimmeri jäähdytti 19,59 MW teholla.

9.4 Teho teoriassa

Suurin virtaus trimmerissä on 703,972 m³/h ja maksimiteho jäähdytykselle on 10 MW (Tähkä 2022a.) Alle olevassa Taulukossa (taulukko 2) on teoriaan pohjautuen arvioitu, kuinka monta astetta saadaan lämpötilaa alas käyden maksimi teholla eli virtaus on koko ajan 703,972 m³/h. Laskennallisesti voidaan todeta, että lämpötila voi tiputtaa tuolloin 12 astetta.

Taulukko 2. Maksimivirtauksen jäähdytys

Suurin lämpötilaero 10 MW teholle, kun suurin virtaus 703,972 m ³ /h					
m ³ /h	l/h	°C	kJ	kW	MW
703,972	703 972	1	2 956 682	821,30	0,82
		2	5 913 365	1642,60	1,64
		3	8 870 047	2463,90	2,46
		4	11 826 730	3285,20	3,29
		5	14 783 412	4106,50	4,11
		6	17 740 094	4927,80	4,93
		7	20 696 777	5749,10	5,75
		8	23 653 459	6570,41	6,57
		9	26 610 142	7391,71	7,39
		10	29 566 824	8213,01	8,21
		11	32 523 506	9034,31	9,03
		12	35 480 189	9855,61	9,86
		13	38 436 871	10676,91	10,68
		14	41 393 554	11498,21	11,50
		15	44 350 236	12319,51	12,32

Teoria käyttäen saadaan hyvin suuntaa antavia lukuja, mutta kuitenkin koeajon jälkeen voitiin varmistaa vertailemalla koeajon ja teorialaskuja, että lukemat ovat samaa luokkaa taulukoissa 1-3. Ominaisentalpian kaava 1 on erittäin tärkeä ja hyödyllinen kaavaa, jota voidaan soveltaa monella alueella.

Taulukko 3. Teoreettinen jäädytysteho eri virtaus määrillä

Vaadittava lämpötilaero jäädytyksessä eri virtauksilla 10 MW teholle					
MW	kW	m ³ /h	l/h	°C	
10	10 000	150	150 000	57,14	
10	10 000	175	175 000	48,98	
10	10 000	200	200 000	42,86	
10	10 000	225	225 000	38,10	
10	10 000	250	250 000	34,29	
10	10 000	275	275 000	31,17	
10	10 000	300	300 000	28,57	
10	10 000	325	325 000	26,37	
10	10 000	350	350 000	24,49	
10	10 000	375	375 000	22,86	
10	10 000	400	400 000	21,43	
10	10 000	425	425 000	20,17	
10	10 000	450	450 000	19,05	
10	10 000	475	475 000	18,05	
10	10 000	500	500 000	17,14	
10	10 000	525	525 000	16,33	
10	10 000	550	550 000	15,58	
10	10 000	575	575 000	14,91	
10	10 000	600	600 000	14,29	
10	10 000	625	625 000	13,71	
10	10 000	650	650 000	13,19	
10	10 000	675	675 000	12,70	
10	10 000	700	700 000	12,24	

Vaadittava lämpötilaero jäädytyksessä eri virtauksilla 10 MW teholle, mutta vertailen mittaustuloksia koeajosta, näin tulee käytännön ja teorian vertailua. Taulukkoon 3 on merkitty vihreällä värillä lämpötila-alue (12,24–28,57) °C, jossa koeajo onnistui, tämä on nähtävissä taulukosta 1.

9.5 Kustannukset

Lämpöä voidaan siirtää kahdella eri tavalla, ensimmäinen on trimmeri 1 kautta vesi menee jäädytin vesitorneille, toinen tapa on trimmeri 2 joka ottaa STEP:in pumppaaman raakaveden ja lämpö siirtyy suoraan jokeen. Kasvavat energiakustannukset lisäävät tarvetta selvittämään, mikä on energiatehokkain tapa jäädyttää prosessia.

Termi €/km³ tarkoittaa, euromäärää jokaista 1000m³ raakavettä. Tämän vuoden kustannukset raakavedelle on 15,6 €/km³ ja komponentit 24,3 €/km³, tarkoittaen jos vesi virtaisi täydellä kapasiteetilla trimmerin 2 läpi yhden vuorokauden ajan niin mitä tämä tarkoittaisi kustannuksina.

$$703,972 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h} = 16\,895,328 \text{ m}^3/\text{vrk} / 1000 \rightarrow 16,89 \text{ km}^3 * (15,6 + 24,3) \text{ €/km}^3 \\ = 673,9 \text{ € / vrk.}$$

Pitää kuitenkin huomioida, että trimmeri 2 tarvitaan ainoastaan kesällä, jolloin käyttökuukausia kertyy 4–5 kuukautta riippuen täysin kuinka lämmin kesä on. Jäähdytys vesitornien kautta pienentää veden kulutusta, mutta kasvattaa sähkönkulutusta.

Taulukko 4. Raakaveden käytöstä aiheutuvat kustannukset jäähdytyksestä

Veden määrä m ³ /h	Raakaveden hinta €/km ³	komponentit €/km ³	€/h	€/vrk
	15,6	24,3		
703,972	10,9819632	17,1065196	28,08848	674,1236
700	10,92	17,01	27,93	670,32
650	10,14	15,795	25,935	622,44
600	9,36	14,58	23,94	574,56
550	8,58	13,365	21,945	526,68
500	7,8	12,15	19,95	478,8
450	7,02	10,935	17,955	430,92
400	6,24	9,72	15,96	383,04
350	5,46	8,505	13,965	335,16
300	4,68	7,29	11,97	287,28
250	3,9	6,075	9,975	239,4
200	3,12	4,86	7,98	191,52
150	2,34	3,645	5,985	143,64
100	1,56	2,43	3,99	95,76
50	0,78	1,215	1,995	47,88

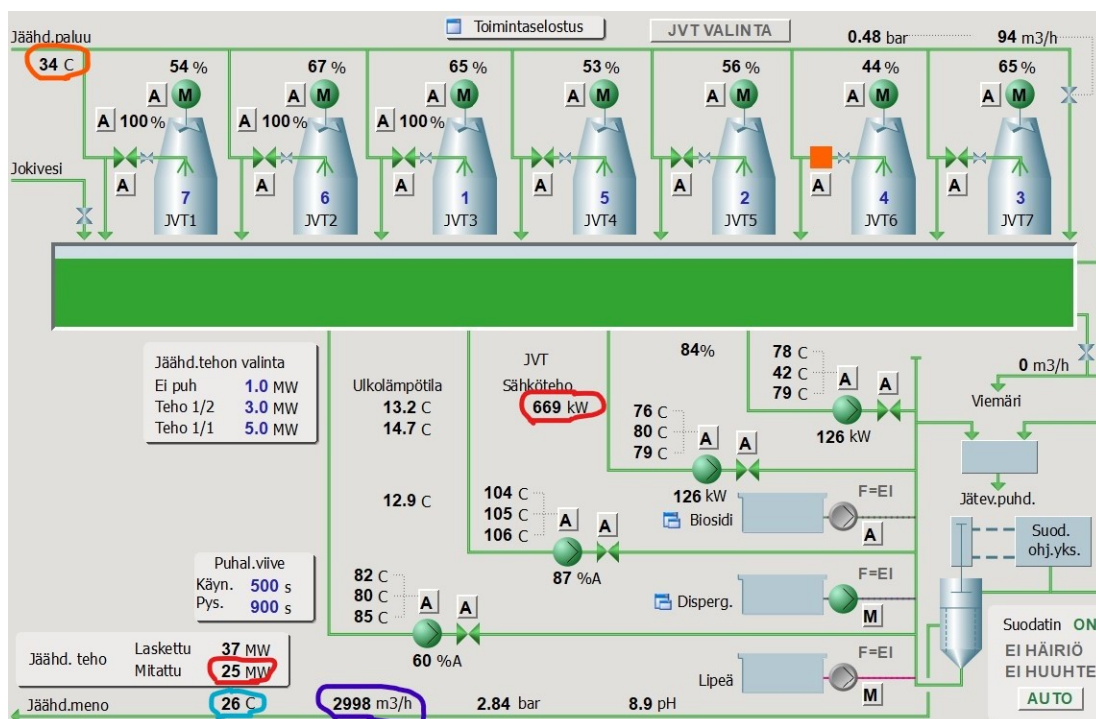
Mikäli energian hinta jatkaa nousuaan tai pysyy korkealla, kannattavuuden kannalta pitää miettiä, onko halvempi jäähdyttää sähköllä jäähdytysvesitornien kautta vai suoraan raakavedellä. Jäähdytysvesitornit kuluttavat sähköä, mutta samalla vettä haihtuu tornien kautta. Vuoden 2021 kesäkuukauden keskiarvo oli 42,67 m³/h, tämän verran vettä on lisättävä tilalle tunnissa, ettei vesi pääse loppumaan.

Kuvassa 14 mitattu teho on 25 MW laskennallisesti kylmän veden vastaanottama lämpö määräksi saadaan, käyttämällä kaavaa 1 seuraavasti:

$$2998 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 2998 \text{ 000 l/h}$$

$$2998 \text{ 000 l/h} * 4,2 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} * (34-26) ^\circ\text{C} = 100732800 \text{ kJ} / 3600 = 27 \text{ 981 kW}$$

$$= 28 \text{ MW}$$



Kuva 14. Jäähdytysvesitornit (Boliden 2022b.)

28 MW jäähdytys sähköteho on 669 kW ja keskiarvoltaan 30 m³/h vettä haihtuu. Tähän olisi mahdollista ottaa uudempi trimmeri rinnalle jäähdyttämään ja tehdä vertailua kustannuksista trimmerin-1 ja 2 välillä. Laskennallisesti ei voida laskea, koska puuttuu kWh ja sähkönhinta.

9.6 Vaihtimen puhdistus

Vaihtimen puhdistus tulisi suorittaa 1–2 kertaa vuodessa, puhdistus ei vaadi pakkan avaamista sillä puhdistus suoritetaan kiertopesuna. Vaihdin otetaan eroon jäähdytyksestä, suljetaan raakaveden venttiilit, jotka ympäröity kuvassa 15 punaisella ja liitetään

pesurin linjat lämmönvaihtimeen merkitty kuvaan 15 vihreällä. Joessa virtaa alkukeväästä ja loppusyksystä paljon enemmän humusta, kuin keskellä kesää, mutta pienikin kerros levyn pinnalla nopeuttaa likaantumista, kun humuksella on kiinnityskohta. Tämän takia vaihdin tulee puhdistaa kiertopesurilla, ettei tehokkuus huonone.



Kuva 15. Trimmeri 2 (Kangas 2022.)

Perinteinen puhdistus tapahtuu lipeällä ja lämpimällä vedellä. Tänä vuonna testattiin kuitenkin uutta tapaa, missä emäksisen (lipeän) jälkeen suoritettiin hapan pesu (fosforihappoa). Lipeäpesu poisti humuksen hyvin pois, mutta jätti pienen kalvon lämmönvaihtimen pintaan, hapolla tämän sai varsin tehokkaasti poistettua. Tämä toteutettiin ulkopuolisen yrityksen toimesta, mikä luo kustannuksia, mutta pesutulos oli erinomainen. Tässä on mahdollisuus kuitenkin säästää kustannuksissa, jos pesun toteuttaa omalla pesurilla.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Teho

Uudempi trimmeri (2) on mitoitettu 10 MW teholle ja kykenee hyvin siirtämään lämpöä pois järjestelmästä, mikäli ongelmia syntyy muualla järjestelmässä, että lämpöä ei muuten saada pois. Koeajo kesti 6h 20min ja tästä valitsin 9 mittauspistettä, missä oli havaittavissa, että trimmeri lähtee tehokkaasti mukaan jäähdytykseen. Huipputeho saavutettiin mittapisteessä 8 jolloin teho oli 8,46 MW ja keskiarvallisesti koeajossa teho oli 4,29 MW. Mittauksissa saatuja tietoja käytin erilaisissa teoreettisen kapasiteetin laskuissa hyödyksi. Saatujen tulosten myötä voitiin teoriassa todeta, kuinka paljon lämpötilaa saadaan alas täydellä teholla ja paljonko vettä pitää virrata järjestelmän läpi saavuttaen optimaalisen tehon jäähdytykselle.

10.2 Kustannukset

Täydellä kapasiteetilla 703,9 m³/h raakaveden hinta on 674 €/vrk, tätä voidaan verrata sähkönhintaan, onko kannattavampaa ottaa myös pienemmällä kuormalla uudempi trimmeri 2 ajoin, jos sähkönhinta on korkea. Trimmeri käyttökustannukset syntyvät raakaveden käytöstä ja 1–2 kertaa vuodessa tehtävästä kiertopesusta, mutta pesu voidaan toteuttaa talon omalla pesurilla käyttäen vain lipeää. Oman pesurin käytöstä saadaan ylimääräisiä kustannuksia poistettua, kun pesun suorittaa oman yrityksen henkilöstö, mutta se sitoo taas omia työntekijöitä pesun aloitukseen ja lopetukseen. Hyvin suunniteltu viikko huoltojen kannalta auttaa tehtävien suorittamisessa onnistuneesti, mutta on syytä varautua odottamattomiin ongelmiin.

11 LOPPUPOHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, koska tästä hyötyvät molemmat osapuolet. Kokemusta minulla oli jo ennestään hyvin alueelta, mutta varsinainen tuotantoprosessi vaatii aikaa tämän täydelliseen sisäistämiseen. Itse kuitenkin opin valtavasti työtä tehdessä, prosessin jäähdytyksestä ja siihen liittyvistä ongelmista, sekä lämmönsiirtimeen puhdistuksesta. Työtä tehdessä itselle tuli mieleen muutamia kehitysideoita koskien lisäyksiä prosessin tiedonkeruuta, sekä DNA- prosessinohjausjärjestelmään jäähdytys teho lukeman lisäys. Mikäli tiedossa olisi sähkönkulutus jäähdytysvesitorneilla niin voitaisiin paremmin verrata kannattavuutta suoralla jokivedellä tehtävällä jäähdytyksellä ja jäähdytysvesitorneilla tapahtuvalla haihdutuksella. Sähkönkulutus on toissijainen asia, mutta kulutusta kannattaa pitää silmällä, koska tällä hetkellä markkinoilla vallitsee korkea sähkö hinta, viimeistään silloin kun kesä lähestyy. Tärkeintä kuitenkin on, että jäähdytys toimii. Uudemman trimmerin linjat eivät ole eristetty, joten käyttö tapahtuu silloin, kun ei ole pakkasta.

Tietoa oli saatavilla valtavasti, mutta oli tiedettävä mistä etsiä ja tähän sain hyvin apua monelta henkilöltä. Lopuksi haluan kiittää Boliden Harjavalta Oy:n rikkihappotehtaan henkilöitä, jotka auttoivat ja opastivat tutkimusta tehdessä.

LÄHTEET

Alfa Laval. (n.d.) How do spiral heat exchangers work. Haettu 05.08.2022 osoitteesta <https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/welded-spiral-heat-exchangers/how-it-works/>

Alfa Laval. Toiminta. (n.d.). Haettu 20.07.2022 osoitteesta <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/lammonsiirto/levylammonvaihtimet/hitsatut-spiraali-lammonvaihtimet/>

Boliden Oy. (2021a) Yksi maailman tehokkaimmista kuparin ja nikkelin tuottajista. osoitteesta <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>

Boliden Oy (2022b) Prosessinohjausjärjestelmä DNA.

Bioenergia ry. (n.d.). Tutkittua tietoa turpeesta. Haettu 17.07.2022 osoitteesta <http://turveinfo.fi/ymparisto/humus/humus-on-luonnollinen-osa-vesiekosysteemia/>

Elanco. (n.d.). Spiral Plate Heat Exchangers. Haettu 04.08.2022 osoitteesta <https://www.elancoheatexchangers.com/wp-content/uploads/2019/02/spiral-plate-heat-exchangers-4-500x375.jpg>

IQS Directory. (n.d.). Shell and Tube Heat Exchangers. Haettu 01.09.2022 osoitteesta <https://www.iqsdirectory.com/articles/heat-exchanger/shell-and-tube-heat-exchangers.html>

Kangas, S Trimmeri 2.

King, M, Davenport, W, Moats, M. 2013 Sulfuric Acid Manufacture. Bound Poland

KL-Lämpö. (n.d.). Levylämmönsiirtimen huolto- ja kunnostuspalvelut. Haettu 01.09.2022 osoitteesta. <https://www.kl-lampo.com/palveluratkaisut/voimalaitosten-palvelut/lammonsiirrinpalvelut/levylammonsiirtimien-huolto-ja-kunnostuspalvelut/116>

KL-Lämpö. (n.d.). Lämmönsiirtimet. Haettu 15.06.2022 osoitteesta <https://www.kl-lampo.com/lomake/palveluratkaisut/teollisuuden-palvelut/lammonsiirrinpalvelut/158>

Kokemäenjoki ELY-keskus. (n.d.). Kokemäenjoki on yksi Suomen merkittävimmistä jokivesistöistä. Haettu 12.07.2022 osoitteesta <https://www.kokemaenjoki.fi/>

Louie, D. (29.10.2019). Acid Plant Database. <http://www.sulphuric-acid.com/sulphuric-acid-on-the-web/acid%20plants/Boliden%20Harjavalta.htm>

Moran, M, Shapiro, H, Munson, B, DeWitt, D. 2003 Introduction to Thermal Systems Engineering. John Wiley & Sons, Inc United States of America

Motiva. Energiatehokas lämmönsiirto. (n.d.). Haettu 07.09.2022 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas_lammonsiirto.pdf

Mueller, P. (31.08. 2019). Good Maintenance Habits for Plate Heat Exchangers. <https://academy.paulmueller.com/good-maintenance-habits-for-plate-heat-exchangers>

Pihkala, J. (2013). Prosessitekniiikan yksikköprosessit. Tampere Juvenes Print

Sondex Tapiro Oy Ab. (n.d.). Lamellilämmönsiirtimet. Haettu 04.08.2022 osoitteesta <http://tapiro.fi/tuotteet/lammonsiirtimet.html>

Spakovszky,Z,S.(03.09.2007). Thermodynamics and Propulsion. osoitteesta <https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node131.html>

Sölken, W. (n.d.). Plate heat exchangers. Haettu 15.07.2022 osoitteesta <https://www.wermac.org/equipment/plateheatexchanger.html>

Thpanorama. (n.d.). Eksoterminen reaktio, tyypit ja esimerkit. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://fi.thpanorama.com/articles/qumica/reaccin-exotmica-proceso-ti-pos-y-ejemplos.html>

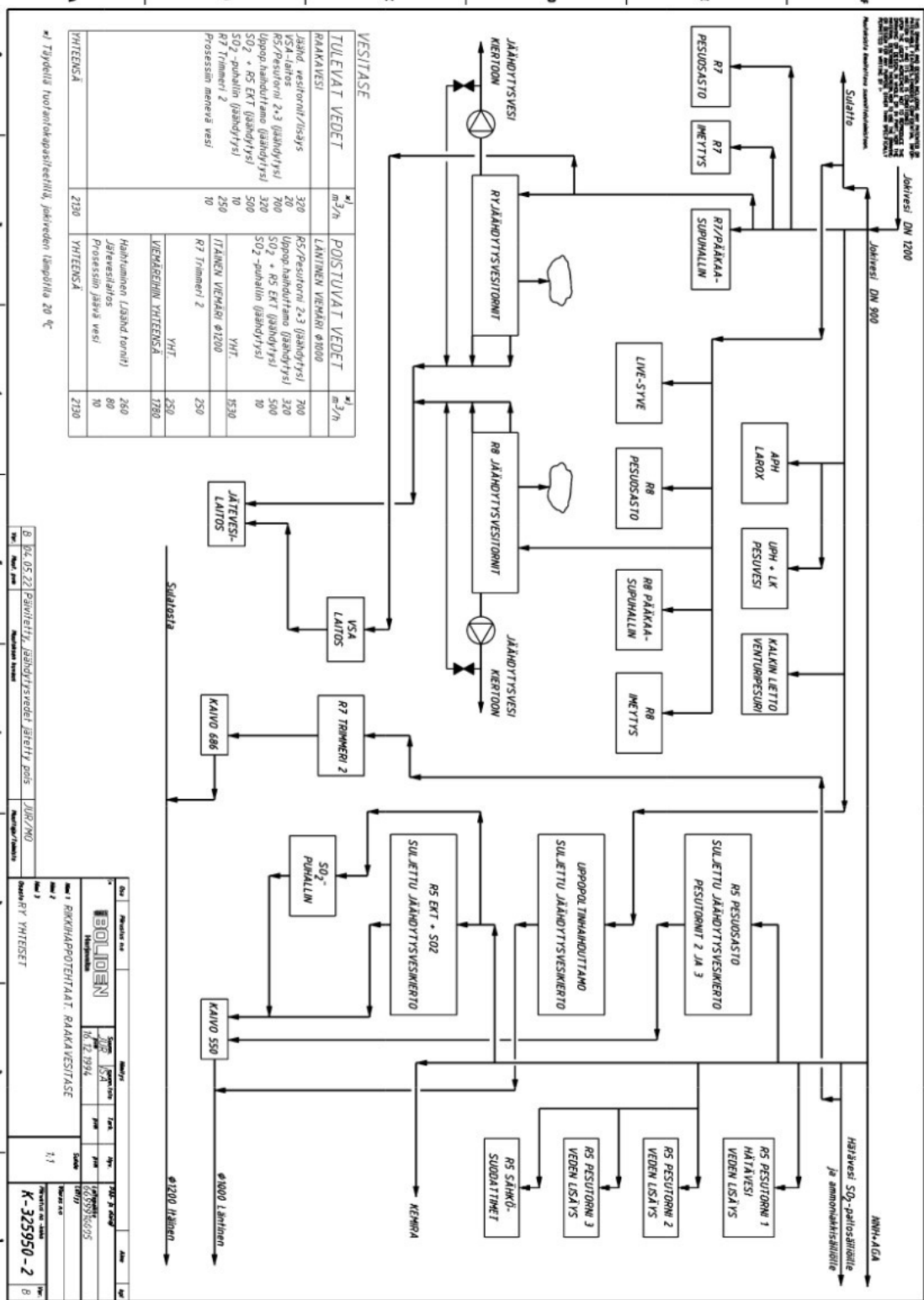
Tähkä, J.(a) (07.08.2022) Henkilökohtainen keskustelu Boliden rikkihappotehtaan päällikön, Jukka Tähkän, kanssa.

Tähkä, J.(b) (14.08.2022) Rikkihappotehtaan päällikkö Jukka Tähkältä sähköposti perehdytys rikkihappotehtaille.

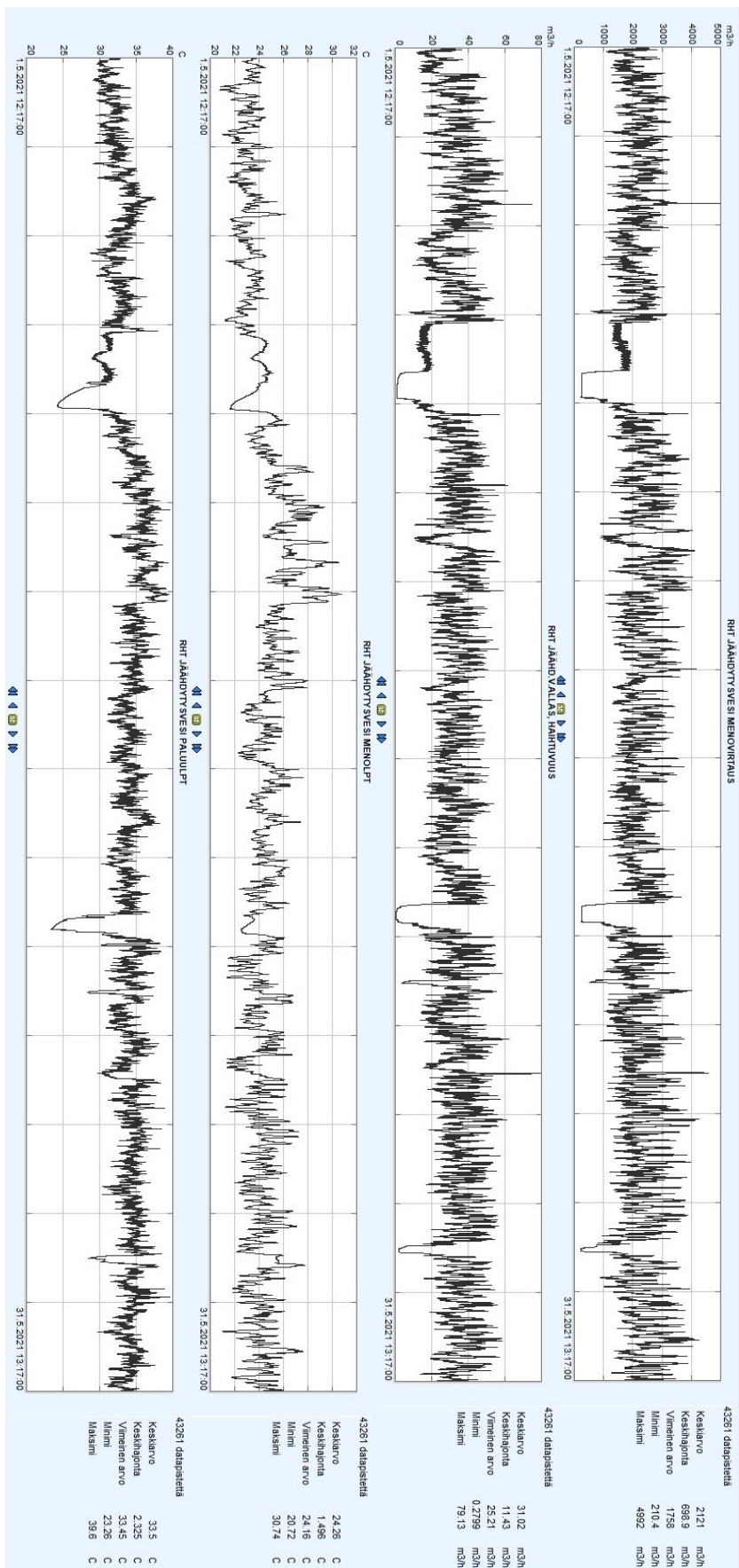
ViFlow Finland Oy. (n.d.). Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet. Haettu 15.07.2022 osoitteesta <https://docplayer.fi/2690922-Tiivisteelliset-levylammonsiirtimet.html>

Wheeler, M. (24.10.2020) HRS helps AD plant tap into additional heat from existing CHP 2020. <https://www.foodmag.com.au/hrs-helps-ad-plant-tap-into-additional-heat-from-existing-chp/>

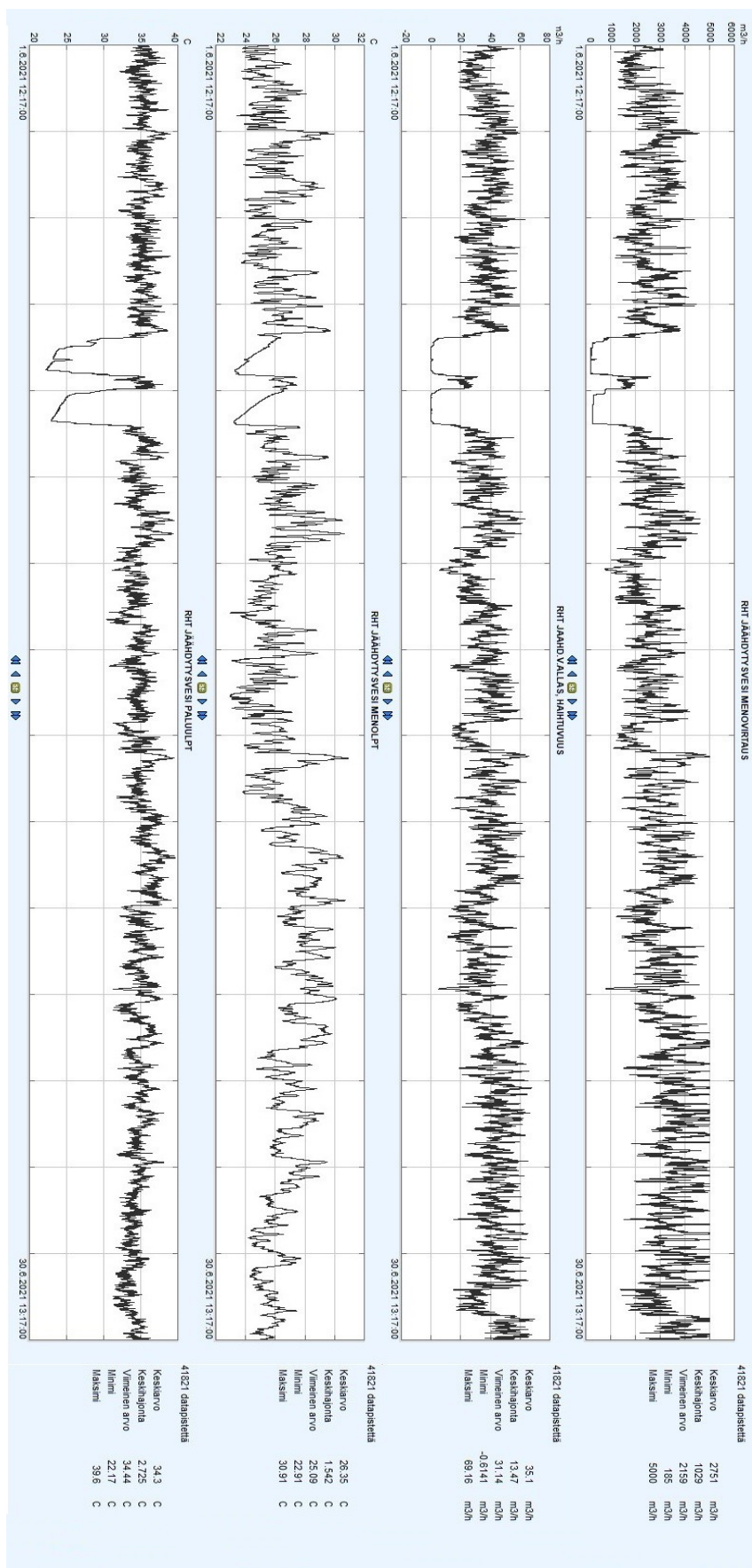
LIITE 1



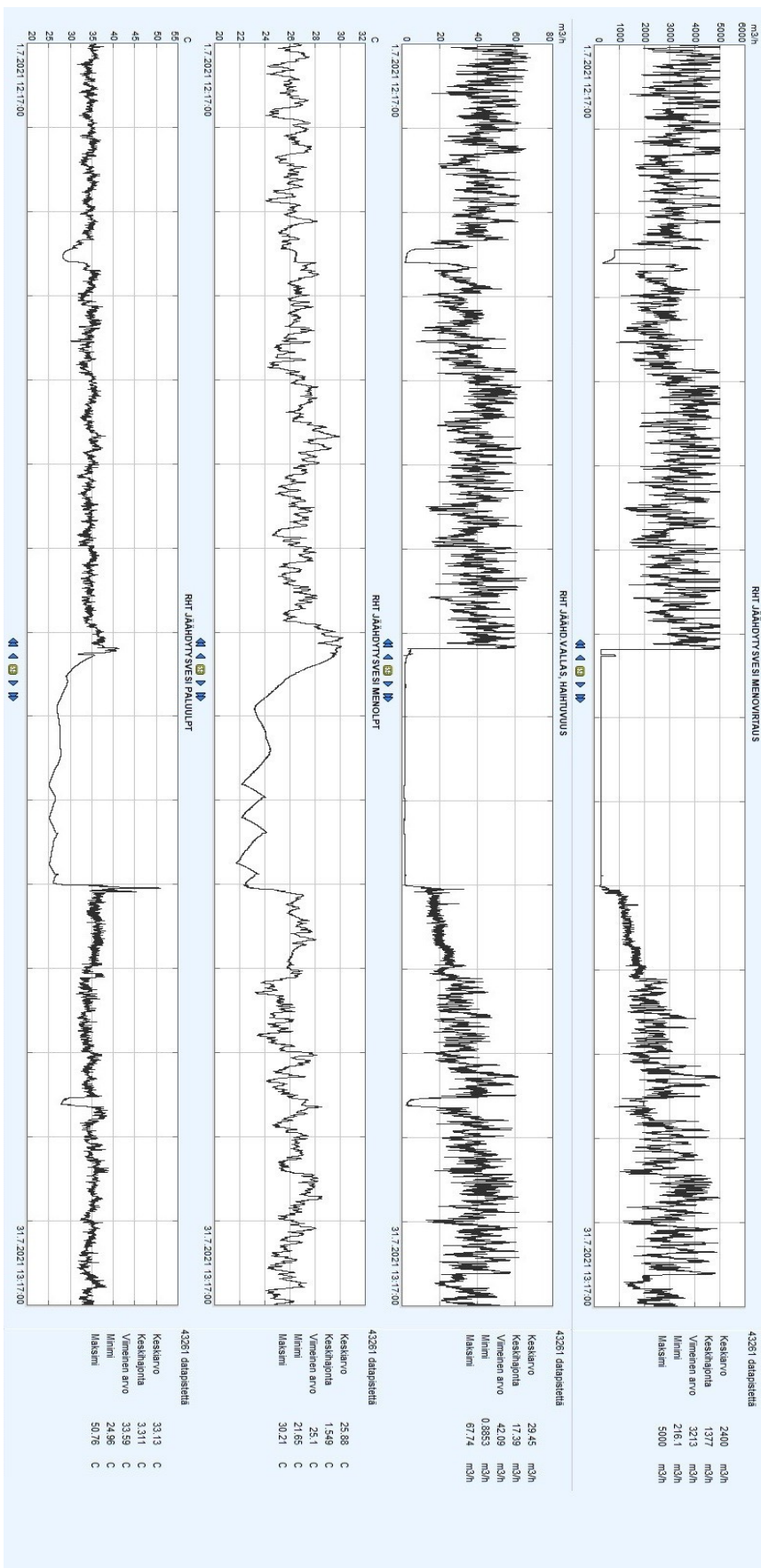
LIITE 2



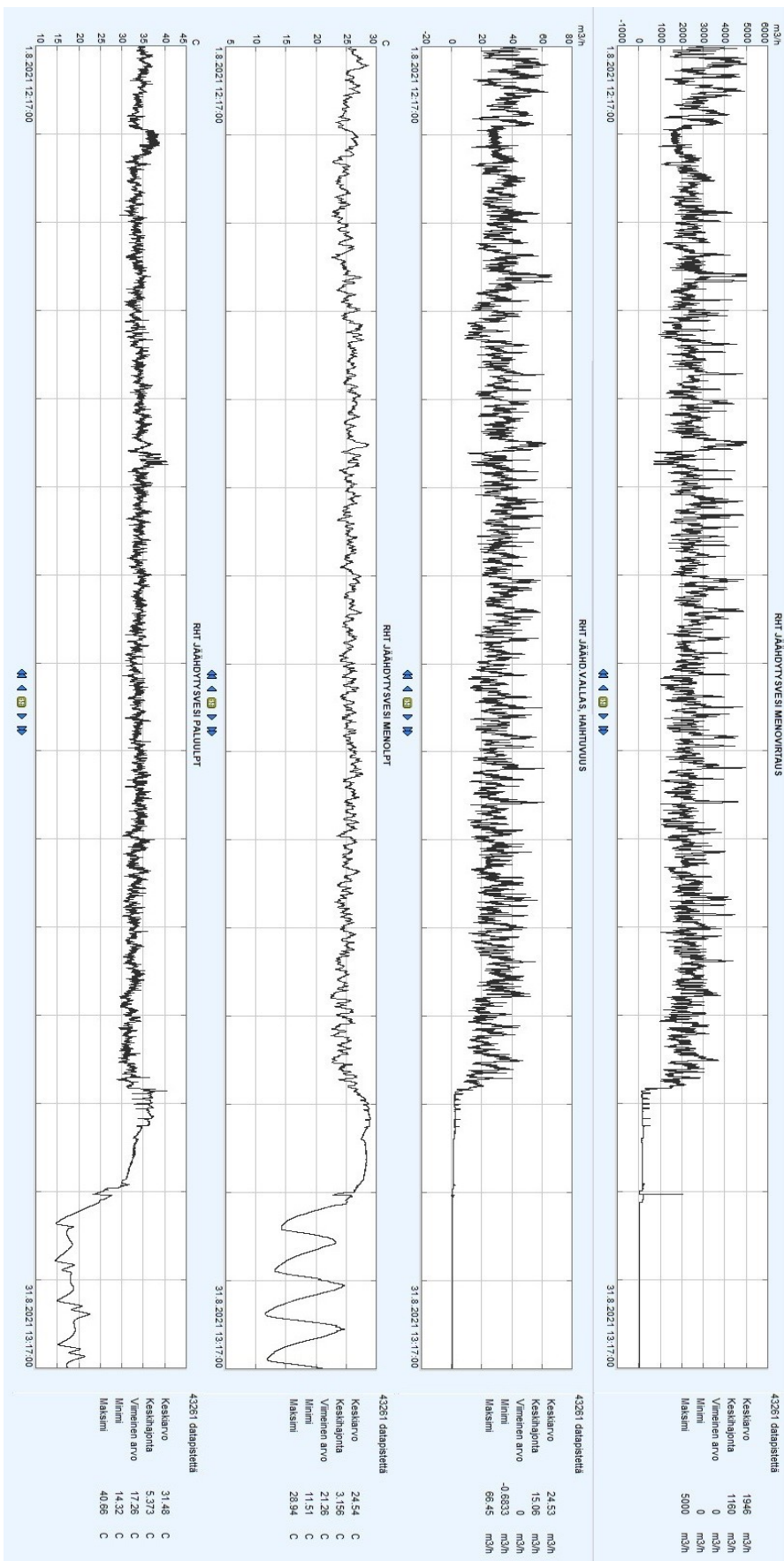
LIITE 3



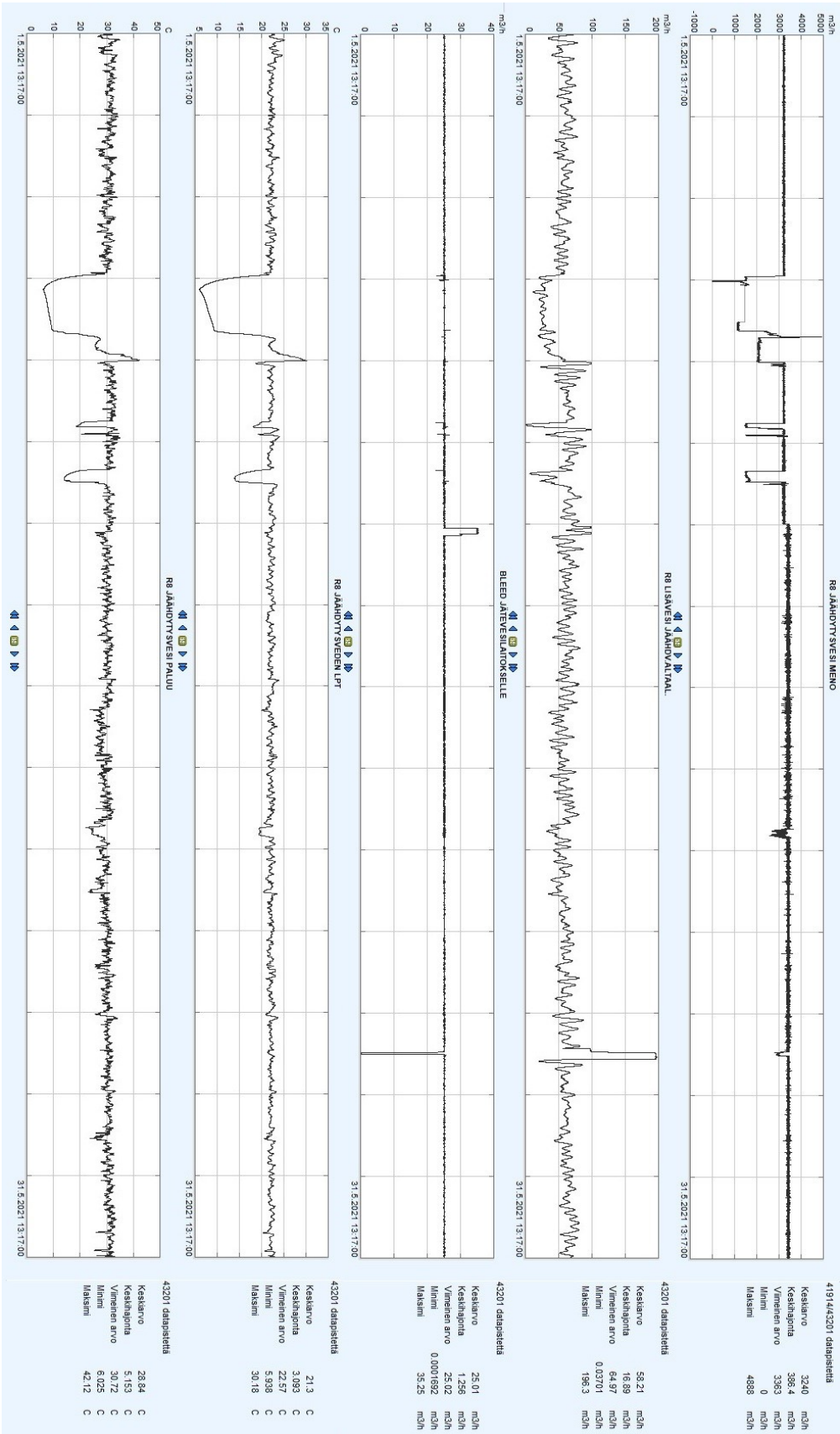
LIITE 4



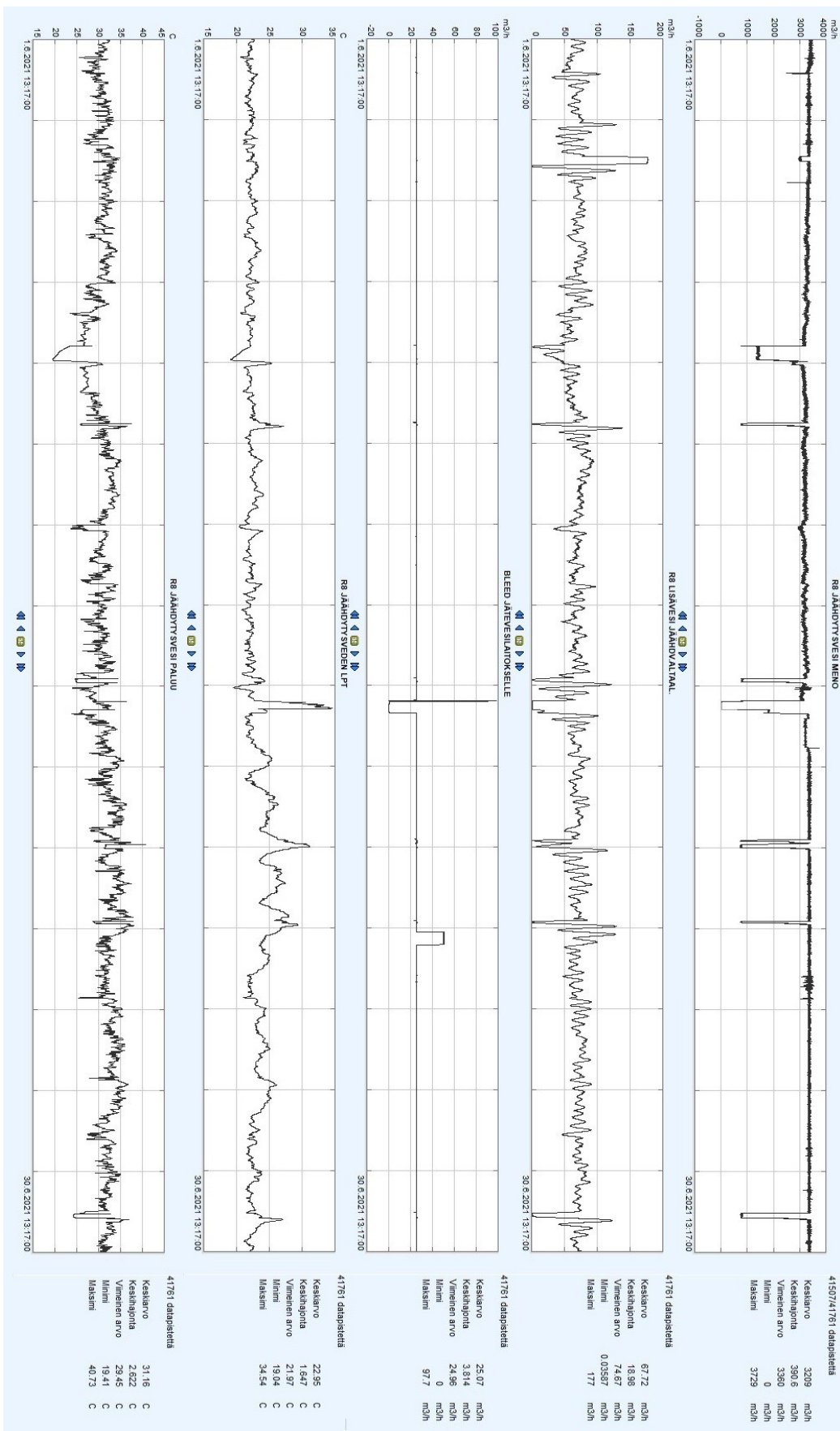
LIITE 5



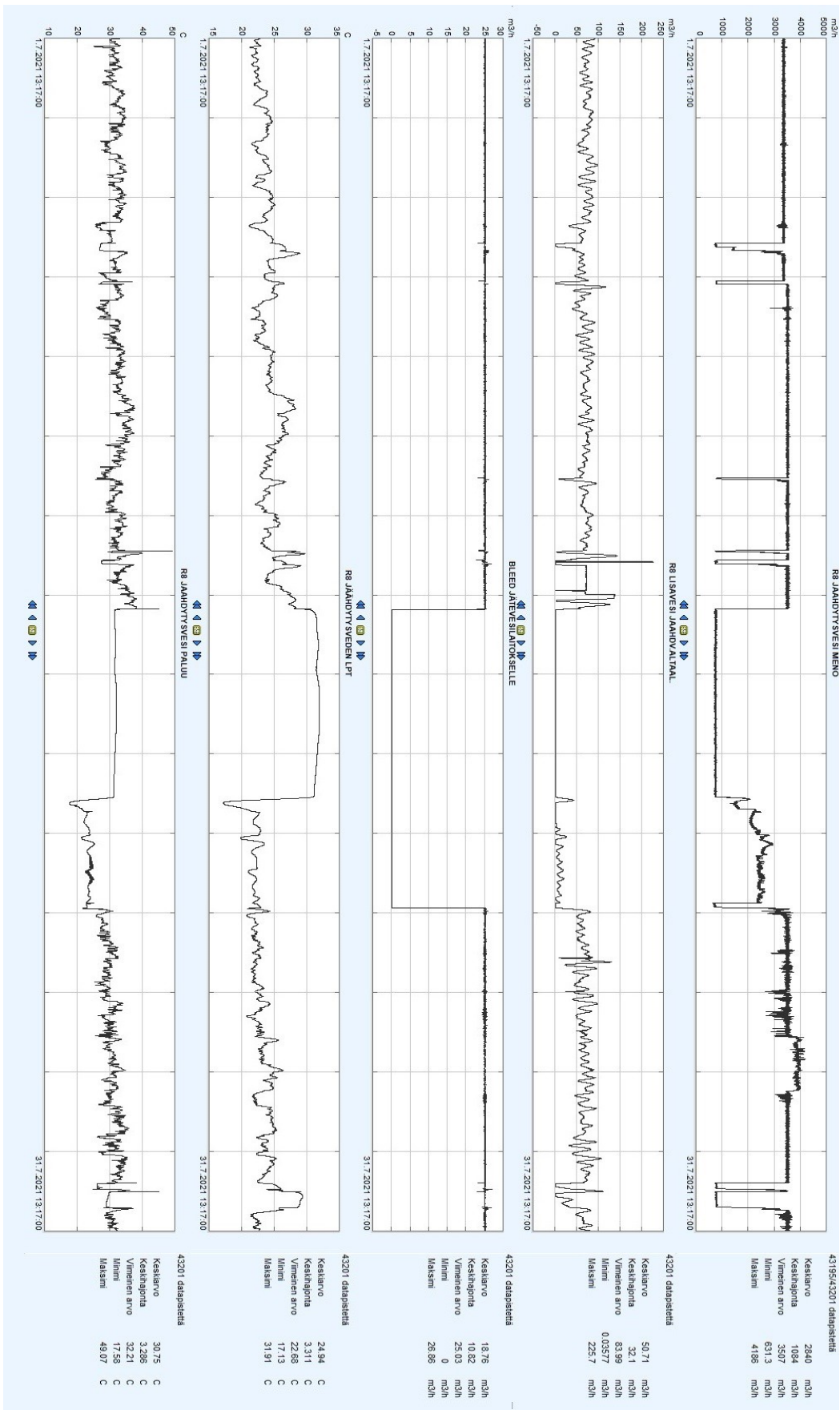
LIITE 6



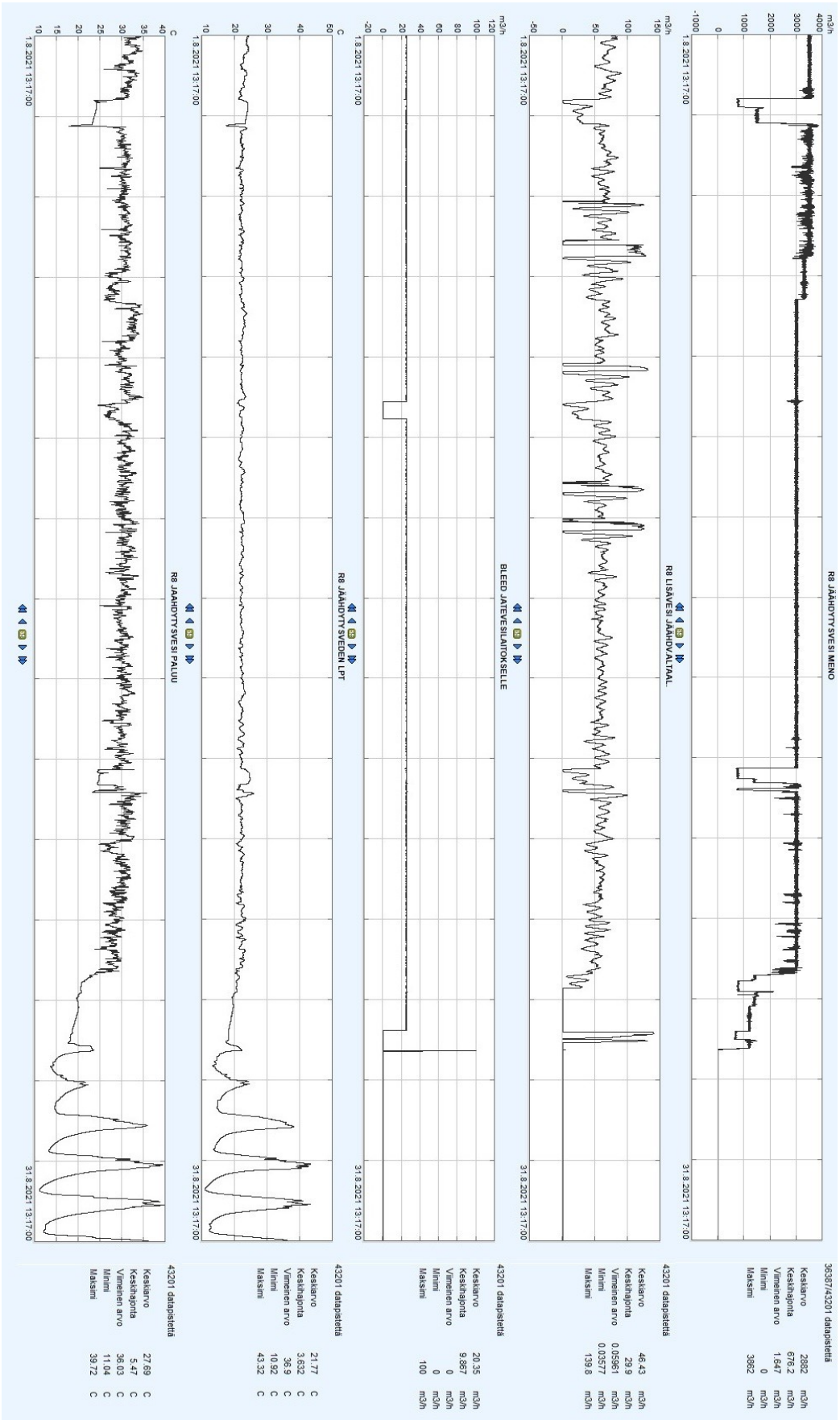
LIITE 7



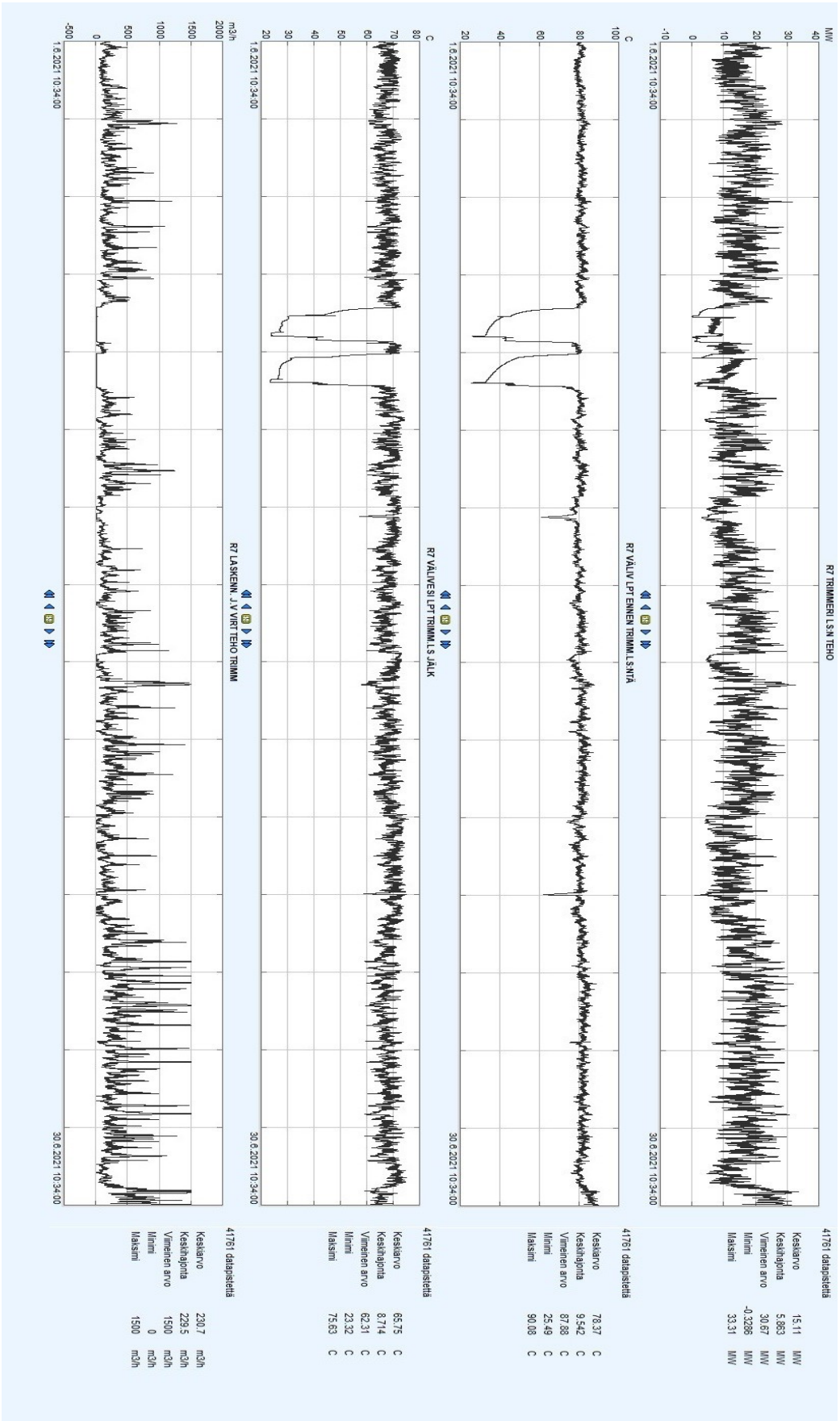
LIITE 8



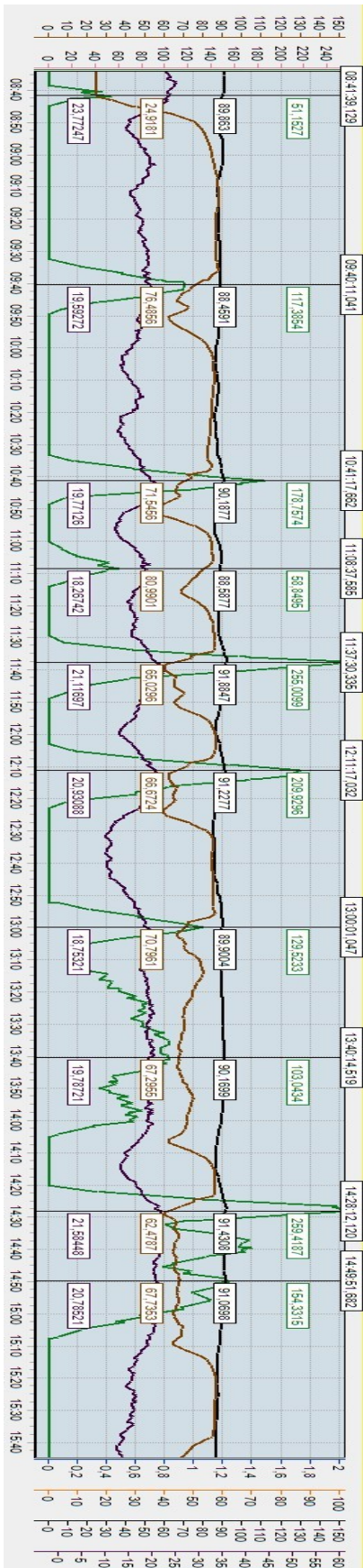
LIITE 9



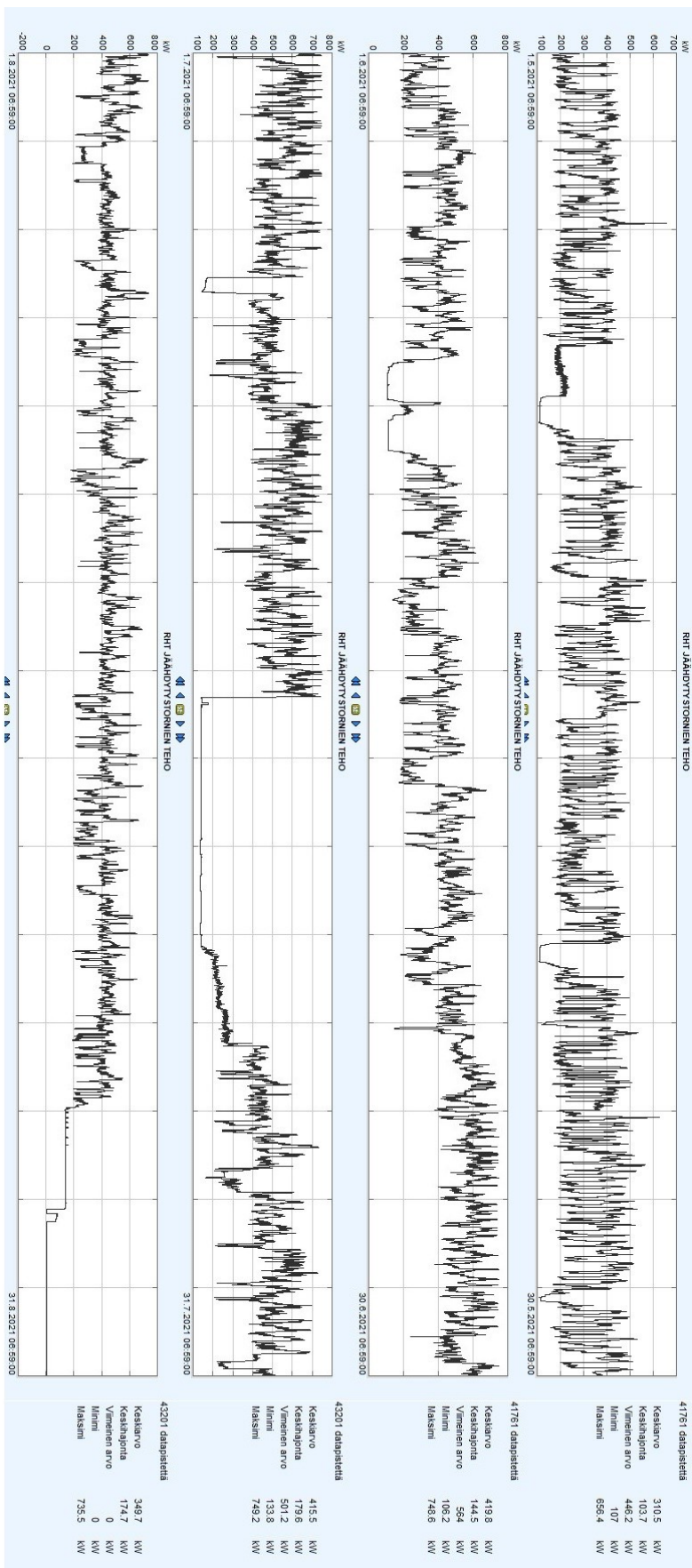
LIITE 10



LIITE 11



LIITE 12



LIITE 13

