



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KASPERI HUHTA-AHO

Kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmät

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIikka
2020

Tekijä(t) Huhta-aho, Kasperri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Kuukausi Vuosi 05/2020
	Sivumäärä 37	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmät		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja Ympäristötekniikan koulutusohjelma		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Pori Energian omistaman Aittaluodon voimalaitoksen lämmitysjärjestelmän nykytila sekä lämmitysjärjestelmän riittävyys talvitilanteessa, jossa kattiloilla ei ole tuotantoa ja näin ollen palamisprosessista kattilan seinämien läpi johtuva lämpöenergia ei lämmitä rakennuksia.</p> <p>Työ aloitettiin sisäilman lämpötilamittauksilla, joiden avulla oli mahdollista saada kokonaiskuva lämmitysjärjestelmän riittävydestä pakkasasteilla. Samanaikaisesti kartoitettiin lämmitysjärjestelmään liitetyt laitteet putkilinjoja seuraamalla sekä suoritettiin lämmityspiirin lämmönsiirtimien tehomittaukset.</p> <p>Selvityksen pohjalta kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmät vastaavat lämmitysenergian tarpeeseen nykyiselläänkin riittävällä tasolla. Kuitenkin kattiloiden ajotavan muuttamisen myötä tulisi lämmitysjärjestelmän ohjauksen ajantasaisuus tarkastaa. Työssä havaittuja merkittävimpiä ongelmia sekä ratkaisuja niihin esiteltiin työn lopussa.</p>		
Kattilalaitokset, Lämmitys, Lämmönvaihdin		

Author(s) Huhta-aho, Kasper	Type of Publication Bachelor's thesis	Date Month Year 05/2020
	Number of pages 37	Language of publication: Finnish
Title of publication Boiler plant heating systems		
Degree programme Energy and Environmental engineering		
Abstract <p>The purpose of this study was to find out what the current condition of the heating equipment in part of the Aittaluoto power plant is and whether it is sufficient to meet the demand in winter time in case the boilers are out of operation and, thus, causing no thermal losses that would keep the buildings warm enough.</p> <p>The study was started with measurements of the inside temperature in the boiler buildings. These measurements give an overall picture of temperature variations in the boiler buildings during winter months. At the same time, the heating equipment was inspected visually by following the pipelines in the buildings. Capacities of heat exchangers that provide heat to heating devices were also measured.</p> <p>Based on the study, the existing heating equipment is in a sufficient level to meet the demand also in the future. However, as the operation of the boilers has changed, also the control system of heating equipment should be checked. The most significant problems relating to heating of the boiler buildings are discussed at the end of this study.</p>		
Boiler plants, Heating, Heat exchanger		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 PORI ENERGIA OY	6
3 AITTALUODON VOIMALAITOS	7
4 R-KATTILA	8
5 RT-KATTILA	8
6 A-KATTILA.....	9
7 APUKATTILA	9
8 KATTILARAKENNUKSIEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT.....	10
8.1 RT-kattilarakennus	10
8.2 R-kattilarakennus.....	11
8.3 Apukattilarakennus.....	11
9 R- JA RT-LÄMMÖNSIIRTIMIEN LÄMPÖKUORMAT	11
10 KAUKOLÄMMÖN OMAKÄYTTÖKOHTEET.....	13
10.1 Rakennuksen sisäinen lämmitysjärjestelmä.....	13
10.2 Käyttöveden lämmitys.....	15
10.3 Prosessiveden lämmitys.....	15
11 LÄMMÖNTARPEEN MÄÄRITTELY.....	17
12 MITTAUKSET	18
12.1 Rakennuksien sisälämpötilat	18
12.2 R ja RT-siirtimien toisiopuolien virtaukset ja tehot	20
13 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	23
13.1 Lisäeristys	23
13.2 Kiertoilmakojeiden lisäys	23
13.3 Vuotoilman lämpöhäviöiden minimointi.....	24
13.4 Hukkalämmön hyötykäyttö R-kattilarakennuksen lämmityksessä	25
13.5 Lämpötilaseurannan toteutus	25
13.6 Lämmönsiirtimien toiminnan tarkastus	26
13.7 Tulo- ja poistoilmakoneiden ohjaus	26
13.8 Omakäyttökaukolämmön kokonaismittauksen tarkistus	27
14 YHTEENVETO.....	28

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitoksen kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmien nykytila sekä lämmityksen riittävyys/riittämättömyys nykyisessä tilanteessa, jossa uusi A-kattila korvaa vanhemmat R- ja RT-kattilat höyryntuotannossa.

Normaalisti R- ja RT-kattilat ovat lämmittäneet kattilarakennukset säteily- ja konvektiolämmöllä. A-kattilan valmistuttua keväällä 2020 RT-kattilaa on tarkoitus käyttää huippukuormakattilana, jolloin arvioituja käyttötunteja kertyy noin 1500 h/a. R-kattila tuotti höyryä viimeisen kerran huhtikuussa 2019, minkä jälkeen kattila ajettiin alas, eikä tulevaisuudessa tuotantoa ole tarkoitus jatkaa.

Putkisto-, laite- ja rakennusvaurioiden sekä työhyvinvoinnin takia tiloihin on turvattava riittävä lämmitysenergian saanti ja ilmanvaihtuvuus.

Haluan kiittää Pori Energia Oy:tä tästä opinnäytetyömahdollisuudesta. Erityiskiitos opinnäytetyön ohjaajalle Markku Santikolle ja muulle Pori Energian henkilöstölle. Kiitokset myös Satakunnan ammattikorkeakoululle mittausvälineistön lainasta ja ohjaavalle opettajalle Pekka Sirénille.

2 PORI ENERGIA OY

Pori Energia Oy perustettiin vuonna 2006, kun Porin Prosessivoima Oy ja Porin Energia yhdistyivät. Yhtiön liiketoiminta-alueita ovat energiantuotanto, sähkönmyynti, energiapalvelut sekä käynnissäpito-, urakointi- ja tuulivoimapalvelut.

Tytäryhtiöitä Pori Energia Oy:llä on Pori Energia Sähköverkot Oy, joka hallinnoi sähkönsiirto ja jakeluverkkoa Porissa, sekä Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy, joka vastaa energiapalvelujen toimittamisesta teollisuusasiakkaille.

Vuonna 2019 Pori Energia Oy työllisti vakituisesti 202 henkilöä ja vuoden liikevaihto oli 141,5 M€. Liikevoittoa yritys teki 18,8 M€.

Vuoden 2019 Pori Energian keskeiset energialuvut on esitetty taulukossa 1.(Pori energia Oy:n www-sivut 2020)

Taulukko 1. Pori Energian keskeiset energialuvut 2019 (Pori Energia Oy:n www-sivut 2020)

Sähkön myynti	1226 GWh
Lämmön myynti	647 GWh
Prosessienergian myynti	290 GWh
Sähkönsiirto kulutukseen	971 GWh
Voimalaitoksilta vastaanotettu sähkö	580 GWh

3 AITTALUODON VOIMALAITOS

Vuonna 1968 käyttöön otettu Aittaluodon voimalaitos sijaitsee keskeisellä paikalla Porin kaupunkia, Aittaluodon teollisuusalueella. Voimalaitos tuottaa noin 600 GWh energiaa vuosittain ja tuotannosta lähes puolet on kaukolämpöä, joka toimitetaan Porin ja Ulvilan kaukolämpöverkkoihin.

Kaukolämmön lisäksi voimalaitoksella tuotetaan prosessihöyryä Aittaluodon ja Kupariteollisuuspuiston teollisuuden tarpeisiin sekä yhteistuotantona syntyvää sähköä Pori Energian asiakkaille. Voimalaitoksen polttoaineena käytetään pääasiassa kotimaista puuta ja turvetta.

Aittaluodon voimalaitoksen pääkoneiston muodostavat A- ja RT-kattilat, joiden yhteinen lämpöteho on 206 MW. Voimalaitoksella on kaksi generaattoria, joiden sähköteho on 55 MW. Voimalaitoksen kaukolämpöteho on noin 100 MW.

Aittaluodon voimalaitokselta ohjataan Porin koko kaukolämpöverkkoa sekä huippulämpökattiloita. (Pori Energia Oy:n www-sivut 2020)

4 R-KATTILA

R-kattila on vuonna 1968 käyttöönotettu arinakattila, joka muutettiin leijukerroskattilaksi vuonna 1994. Uuden A-kattilan rakennusprojektin myötä R-kattilan käyttö päätettiin lopettaa ja kattila ajettiin alas huhtikuussa 2019. R-kattilan käyttö on ajoittunut lähinnä kesäaikaan sen RT-kattilaa parempien osakuorma-ajo-ominaisuuksien vuoksi. (Hytönen 2010, 8)

Taulukko 2. R-kattilan tekniset tiedot (Hytönen 2010, 8)

Valmistaja	Oy W.Rosenlew AB, Pori
Muutostyöt	Kvaerner Pulping Oy, Tampere
Kattilateho	90 MW
Höyryntuotto	32 kg/s
Tuorehöyryn paine	112 bar
Tuorehöyryn lämpötila	525 °C
Leijukerroksen lämpötila	700-950 °C

5 RT-KATTILA

RT-kattila on vuonna 1981 käyttöönotettu arinakattila, joka muutettiin leijukerroskattilaksi vuonna 1996. Uuden A-kattilan valmistuttua RT-kattila on käytössä suuren lämpökuorman aikana, lähinnä talvisin. (Hytönen 2010, 8)

Taulukko 3. RT-kattilan tekniset tiedot (Hytönen 2010, 8)

Valmistaja	Oy W.Rosenlew AB, Pori
Muutostyöt	Kvaerner Pulping Oy, Tampere
Kattilateho	116 MW
Höyryn tuotto	44 kg/s
Tuorehöyryn paine	113 bar
Tuorehöyryn lämpötila	525 °C
Leijukerroksen lämpötila	700-950 °C

6 A-KATTILA

A-kattila on Andritz Oy:n toimittama vuonna 2020 käyttöönotettu leijukerroskattila, joka korvasi vanhan R-kattilan höyryntuotannossa. Kattilalla on käytössä savukaasujen lämmön talteenottojärjestelmä, joka tuottaa kaukolämpöä 20 MW teholla. (Pori Energia 2020)

Taulukko 4. A-kattilan tekniset tiedot (Pori Energia 2020)

Valmistaja	Andritz Oy
Kattilateho	80 MW
Höyryntuotto	30 kg/s
Tuorehöyryn paine	112 bar
Tuorehöyryn lämpötila	520 °C
Leijukerroksen lämpötila	650-850 °C

7 APUKATTILA

Apukattilana Aittaluodon voimalaitoksella käytetään KPA Unicon Oy:n vuonna 2006 toimittamaa 46 MW:n öljykattilaa. Kattilaa käytetään höyryntuotannon avustavissa tehtävissä tilanteissa, joissa kiinteällä polttoaineella toimivien kattiloiden käyttö on rajoittunut tai kattiloiden tuotanto ei riitä kattamaan kaikkea energiantarvetta. Lisäksi sillä turvataan teollisuuden prosessihöyryn tarve häiriötilanteissa. (Hytönen 2010, 8)

8 KATTILARAKENNUKSIEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmät käyttävät lämmitykseen laitoksilla tuotettua kaukolämpöä ja järjestelmien pääkomponentteina ovat lämmönsiirtimet, sekä ilmanvaihto- ja kiertoilmakojeet, joiden pääsääntöinen tarkoitus on ollut lämmittää kattiloiden tarvitsema palamisilma.

Normaaliolosuhteissa kattiloiden käydessä, rakennuksien lämmityksestä on huolehtinut lämmin palamisilma sekä palamisprosessista kattilan seinämien läpi ympäristöön siirtyvä energia eli kattilahäviöt. Osa sisäilmaan siirtyvästä energiasta saadaan talteen, koska se lämmittää kattilahuoneen ilmaa ja palamisilmat otetaan kattilarakennuksen yläosista.

Kattilahäviöistä johtuvan lämpötehon suuruusluokka on voimalaitoskokoluokan kattiloissa 1,0-0,2% kattilan polttotehosta. Osakuormissa kattiloiden lämpöhäviöiden suhteellisen osuus kasvaa, sillä häviöiden absoluuttinen määrä pysyy lähes muuttumattomana. (Huhtinen 2000, 110)

8.1 RT-kattilarakennus

RT-kattilarakennuksen lämmitysjärjestelmä pitää sisällään RT-lämmönsiirtimeen kytettyjä kiertoilmakojeita sekä lämmityskenoilla varustettuja tuloilmakoneita. Tuloilmakoneissa on käytössä sekoitusosat, joiden avulla voidaan hallita ulkoilman sekä sisäilman osuutta virtauksesta puhaltimen läpi. Termostaattiohjattujen raitis- ja kiertoilmapeltien liike tapahtuu nollan ja kymmenen plusasteen välillä niin, että ulkolämpötilan laskiessa puhaltimien läpi virtaa enemmän kiertoilmaa kuin raitista ulkoilmaa.

Leikkauskuva kiertoilma- ja tuloilmakoneiden sijoittumisesta RT-kattilarakennukseen on esitetty liitteessä 1.

8.2 R-kattilarakennus

R-kattilarakennuksen lämmitykseen käytetään tällä hetkellä ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevia neljää kiertoilmakojetta, jotka on kytketty RT-lämmönvaihtimelle. Kattilahuoneeseen kulkeutuu myös lämpöenergiaa RT-kattilahuoneesta, sekä vedenkäsittelypuolen tiloista.

8.3 Apukattilarakennus

Apukattilarakennuksen lämmityksestä huolehtii kattilan lämmitykseen käytettävä 3,5 barin matalapainehöyry. Tilassa on myös kaksi kappaletta lämmityspatterilla varustettuja tuloilmakoneita, jotka lämmittävät palamisilman myötä huonetilaa. Rakennuksen oviaukkoihin on myös asennettu oviverhokojeita, jotka lämmittävät tilaa.

9 R- JA RT-LÄMMÖNSIIRTIMIEN LÄMPÖKUORMAT

R- ja RT-lämmönsiirtimien lämpökuormat selvitettiin seuraamalla lämmönsiirtimien runkolinjoja sekä runkolinjoista lähteviä haaroituksia. Siirtimiin kytketyistä laitteista on laadittu alla olevat taulukot.

Taulukko 3. R-lämmönsiirtimeen kytketyt laitteet ja niiden sijainnit laitoksessa.

KERROS	SIJAINTI	LAITE	KPL MÄÄRÄ
6krs	Vesilaitos	Kiertoilmakoje (luvata)	1
5krs	Vesilaitos	Seinäpatteri	3
3krs	Sähkötila CA88	Seinäpatteri	1
1krs	Hissin käytävä	Seinäpatteri	2

Taulukko 4. RT-lämmönsiirtimeen kytketyt laitteet ja niiden sijainnit laitoksessa

KERROS	SIJAINTI	LAITE	KPL MÄÄRÄ
9krs	Porraskäytävä	Seinäpatteri	2
6krs	IV-konehuone	IV-koneet	2
6krs	RT-kattila	Kiertoilmakoje (koja)	4
5krs	RT-kattila	TK5	1
5krs	RT-kattila	TK6	1
5krs	RT-kattila	Kiertoilmakoje (koja)	1
4krs	Toimistot	Seinäpatteri	6
3krs	Toimistot	Seinäpatteri	5
3krs	RT-kattila	TK4/2	1
1krs	RT-kattila	TK2	1
1krs	RT-rappukäytävä	Kiertoilmakoje (abb)	1
1krs	RT-kattila	Kiertoilmakoje (koja)	9
1krs	R-kattila	Kiertoilmakoje (l- vata)	4

Taulukko 5. Lämmönsiirtimiin yhteensä kytketyt laitteet

Kytketyt laitteet R-vaihdin	Kytketyt laitteet RT-vaihdin
7kpl	38kpl

10 KAUKOLÄMMÖN OMAKÄYTTÖKOHTEET

Aittaluodon voimalaitoksella kaukolämmön omakäyttökohteisiin lukeutuvat rakennusten lämmitys, käyttöveden lämmitys sekä prosessiveden lämmitys. Käyttöveden valmistukseen käytettyä kaukolämmön määrää ei tässä opinnäytetyössä mitattu, joutuksen sen vähäisestä oletetusta kulutuksesta suhteessa muihin kulutuskohteisiin.

Prosessitietojärjestelmistä saatujen mittaustietojen, sekä lämmönsiirtimien tehomitauksien pohjalta on kaukolämmön omakäyttökohteiden kulutukset suhteessa toisiinsa esitetty liitteessä 8.

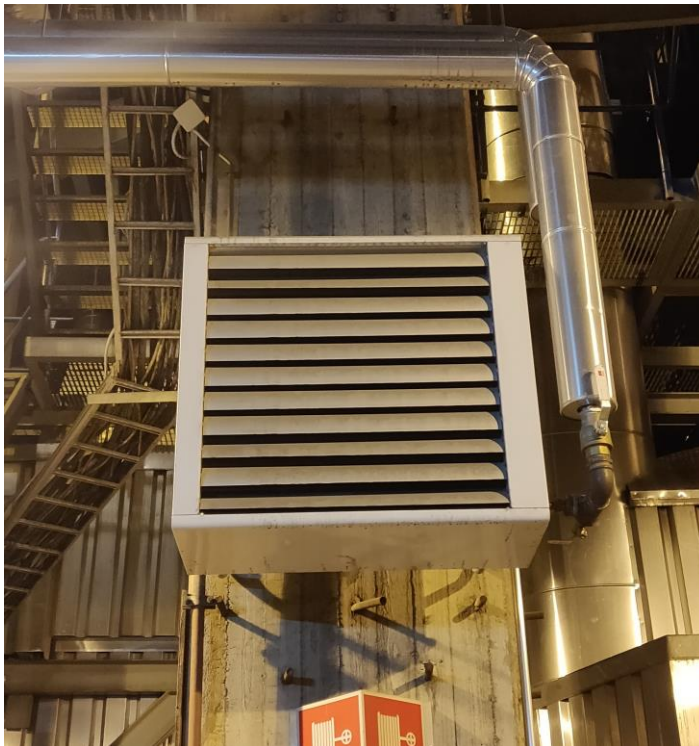
10.1 Rakennuksen sisäinen lämmitysjärjestelmä

Vesilaitoksen viidennessä kerroksessa sijaitsevat R- ja RT-rakennuksien lämmityksen lämmönsiirtimet, joiden kaukolämmön säätöventtiilejä ohjataan OUMAN-säätölaitteella, ulkolämpötilan sekä toisiopuolen menoveden lämpötilan mukaan.



Kuva 1. Kattilarakennuksien lämmityksen lämmönsiirtimet ja käyttöveden lämmönsiirrin

Sisäisen lämmityspiirin päätelaitteina, joilla kattilarakennuksiin syötetään lämpöenergiaa, toimii lämmityskennoilla varustettuja tuloilmakoneita sekä kiertoilmakojeita. Virtauksen jakautumista lämmityslaitteiden välillä on säädetty linjasäätöventtiilien avulla.



Kuva 2. Luvatan valmistama kiertoilmakoje

10.2 Käyttöveden lämmitys

Laitoksen lämmin käyttövesi tuotetaan vesilaitoksen viidennessä kerroksessa sijaitsevalla lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimellä. Lämmönsiirtimien ensiöpuolella olevaa kaukolämmön säätöventtiiliä ohjataan toisiopuolen jättölämpötilan mukaan

10.3 Prosessiveden lämmitys

Laitoksen prosessivesien lämmityksen piiriin kuuluvat flotaatioon menevä mekaanisesti puhdistettu vesi, suolanpoistosarjojen elvytykseen käytettävä lipeän laimennusvesi ja suolanpoistosarjoille menevä kemiallisesti puhdistettu vesi. Lämmönsiirtimien ensiöpuolella sijaitsevia kaukolämmönsäätöventtiilejä ohjataan vaihtimien toisiopuolien lämpötilamittauksilla.



Kuva 3. Kemiallisesti puhdistetun veden lämmönsiirrin, lipeän laimennusveden lämmönsiirrin ja kiinteistölämmönsiirrin

Mekaanisesti puhdistetun veden lämmönsiirrin käyttää omakäyttökaukolämmön kotteista eniten energiaa, lipeän laimennusveden lämmitys on käytössä noin 2-3 kertaa viikossa suolanpoistosarjoja elvytyksen yhteydessä ja suolanpoistosarjojen vettä lämmitetään muutaman kerran vuodessa 8 tunnin jaksoissa.



Kuva 4. Mekaanisesti puhdistetun veden lämmityksen lämmönsiirrin

11 LÄMMÖNTARPEEN MÄÄRITTELY

Työn alussa lähdettiin liikkeelle oletuksesta, että lämmöntarpeen määrittely tulisi suorittaa laskennallisesti tarkastelemalla johtumislämpöhäviötä rakenteiden läpi. Kohteeseen tutustumisen jälkeen kävi ilmi, että johtumishäviölaskennasta tulisi erittäin työläs eikä se tulisi onnistumaan opinnäytetyön aikamääreissä. Dokumentaation puute, sekä seinämateriaalien ja paksuuksien vaihtelevuus seinien ja kerroksien välillä, tekisivät lämpöhäviölaskennan laajuudesta erittäin suuren, ja laskennan lopputuloksen paikkansapitävyyden koettiin olevan erittäin epävarmaa.

Lämmöntarpeen määrittelyä lähdettiinkin lähestymään kokemuserusteisesti ja rakennuksen sisäisiä lämpökuormia tutkimalla. Rakennuksien eri kerrokseen asetettiin lämpötila-antureita mittaamaan lämpötilan kerrostumista kerroksien välillä, sekä sisälämpötilan muutosta suhteessa ulkolämpötilojen muutokseen.

12 MITTAUKSET

12.1 Rakennuksien sisälämpötilat

Rakennuksien sisälämpötilojen mittaukseen käytettiin kiinteistöjen olosuhteiden seurantaan suunniteltua langatonta Miran DLS -loggerijärjestelmää. Järjestelmä koostuu keskusyksiköstä sekä langattomista lähettimistä, joilla voidaan mitata lämpötilan, kosteuden sekä ilmanpaineen lisäksi paine-eroa, rakennekosteutta tai CO₂-pitoisuutta. Mittauksissa hyödynnettiin Pietiko Oy:n tarjoamaa MIRANLink-pilvipalvelua, jonka avulla lähettimien mittausdataa voitiin lukea etänä.



Kuva 5. Langaton Miran DLS -mittausjärjestelmä

Kattilarakennuksien sisälämpötilamittauksissa langattomia lähettämiä asetettiin RT-kattilarakennukseen jokaiseen kerrokseen mittaamaan lämpötilan kerrostumista kerroksien välillä. R-kattilarakennukseen lähettimet asetettiin ainoastaan ensimmäiseen kerrokseen sekä ylimpään kerrokseen. Lähettimien vähäinen määrä R-kattilarakennuksessa johtui vähäisestä lämpötilaerosta ensimmäisen ja ylimmän kerroksen välillä.

Myös vesilaitoksen viidenteen kerrokseen, jossa sijaitsevat laitoksen syöttövesisäiliöt, asetettiin langaton lähetin mittaamaan sisälämpötilaa. Syöttövesisäiliöhuoneen sisälämpötila on esitetty liitteessä 5.

Mittaustuloksista liitteissä 3 ja 4 voidaan huomata ulkolämpötilaolosuhteiden olleen mittausajanjaksolla leutoja. Alimmillaan ulkolämpötila kävi hetkellisesti -10°C tienoilla, sisälämpötilan laskiessa R-kattilarakennuksessa hieman 12°C alapuolelle. Mitä kauemmin kylmä ajanjakso kesti, sitä alemmas kattilarakennusten sisälämpötila laski.

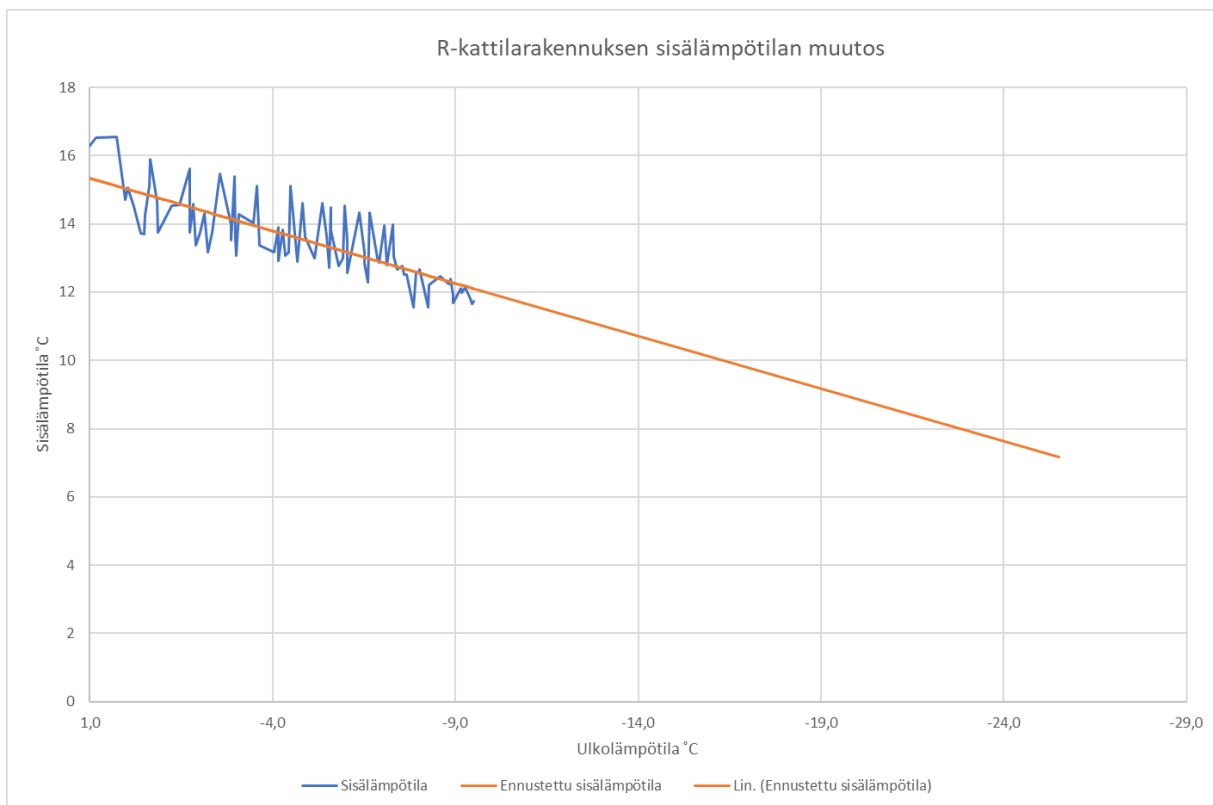
Mittausten alkupäästä, liitteestä 4 voidaan nähdä voimalaitoskattilan vaikutus lämmön kerrostumiseen RT-kattilarakennuksen kerroksien välillä. Liitteessä 4, päivämäärän 4.2 kohdalla, nähdään kuinka RT-kattilan alasajon vaikutuksesta RT-kattilarakennuksen sisälämpötila romahtaa nopeasti ja lopulta kerroksien väliset lämpötilaerot tasaantuvat lähelle toisiaan.

Sisäilmankosteuden mittauksista liitteessä 2 voidaan huomata ulkoilman laskun vaikutus sisäilman kosteusprosentin alentumiseen. Mitä kylmemmäksi ulkoilma laski, sitä alempi huoneilmankosteus rakennuksissa vallitsi.

Mittaustulokset kattilarakennuksien sisälämpötilojen sekä ilmankosteuden vaihteiluista suhteessa ulkolämpötilaan on esitetty liitteissä 2, 3 ja 4.

R-kattilarakennuksen tuntikohtaisten sisälämpötilatietojen sekä tuntikohtaisten ulkolämpötilatietojen pohjalta on Microsoft Excelin regressiotyökalulla laadittu alla oleva kuvaaja, joka ennustaa sisäilman lämpötilan laskua suhteessa oletettuun ulkoilmanlämpötilanmuutokseen. Kuvassa sinisellä on esitetty sisälämpötilan muutos ulkolämpötilan laskiessa. Kuvassa oransseilla viivoilla on esitetty ennustetun sisälämpötilan sekä ennustetun sisälämpötilan viivan kulmakerrointa noudattava, lineaarisesti ennustetun sisälämpötilan muutos ulkolämpötilan laskiessa.

Arvioitaessa kuvaajan paikkansapitävyyttä täytyy ottaa huomioon, että kuvaajalla esiintyvän suoran laskukulma perustuu rakennuksen lämmitysjärjestelmän säätöpotentiaaliin. Mikäli lämmitysjärjestelmän rajat tulisivatkin nopeasti vastaan pakkasasteille mentäessä, rakennukseen syötetty lämmitysenergia ei enää pystyisi tasaamaan lämpötilan laskua ja sisäilman lämpötila laskisi huomattavasti alemmas kuin kuvaajassa.



Kuva 6. Ennustettu sisälämpötilan lasku

12.2 R ja RT-siirtimien toisiopuolien virtaukset ja tehot

R- ja RT-lämmönsiirtimien toisiopuolien tehomittauksilla oli tarkoitus selvittää kattilarakennuksiin syötettävän lämpöenergian määrää sekä tehon vaihtelua suhteessa ulkolämpötilaan

Siirtimien toisiopuolien virtauksien selvitykseen käytettiin CONTROLOTRON 1010P/WP -ultraäänivirtausmittaria, joka asennettiin putkien pintoihin. Sisäisen lämmityskierron meno- ja paluupuolien lämpötiloja mitattiin termopareilla, jotka kytkettiin Grant Squirrel -dataloggeriin.



Kuva 7. CONTROLOTRON 1010P/WP ultraäänivirtausmittari, mittausanturit sekä Grant Squirrel dataloggeri

Siirtimien tuntikohtaisten tehojen laskeminen suoritettiin dataloggerin tuntikohtaisten meno ja paluuvesien lämpötilatietojen perusteella, sekä ultraäänivirtausmittauksista saatujen virtausmäärien avulla. Tuntikohtaisten tehojen määrittämiseen käytettiin kaavaa:

$$\Phi = \dot{m} c_p \Delta T$$

missä,

Φ on lämpöteho [kW]

\dot{m} on jommankumman virtaavan aineen massavirta [kg/s]

c_p on saman aineen ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kgK)]

ΔT on saman ainevirran tulo- ja meno lämpötilojen erotus [K]

Siirtimien toisiopuolien virtaus pysyi mittausajanjakson aikana vakiona, mikä johtui sisäisen lämmitysjärjestelmän kiertopumppujen vakiokierrosnopeudellisesta ohjauksesta.

Siirtimien toisiopuolien tehovaihtelut suhteessa ulkolämpötiloihin on esitetty liitteissä 6 ja 7.

R-lämmönsiirtimen mittausdatasta liitteessä 6 voidaan huomata tuntikohtaisen tehovaihtelun olevan erittäin laajaa, korkeimman tehohuipun ollessa 140 kilowatin tienoilla ja alimman tehon ollessa lähellä nollaa kilowattia. Mitatun tehon käydessä nollassa menoveden lämpötila oli paluuveden lämpötilan kanssa saman suuruinen. Tehovaihtelun tuntikohtainen heilunta johtuu menoveden lämpötilan jatkuvasta seilaamisesta, mikä johtuu taas siirtimen kaukolämpöpuolen säätöventtiilin vajavaisesta toiminnasta.

Liitteestä 7 voidaan huomata RT-lämmönsiirtimen tehovaihtelun olevan huomattavasti tasaisempaa ja täten kaukolämmönsäätöventtiilin toiminnan tasaisempaa. Kuvajasta näkyy myös, miten ulkolämpötilan laskiessa vaihtimen teho kasvaa ja että RT-lämmönsiirtimen tuntikohtainen teho on moninkertainen suhteessa R-lämmönsiirtimeen. Sen selittää siirtimiin kytkettyjen laitteiden lukumäärien erot, jotka on esitetty kappaleessa 9.

Siirtimiin kytkettyjen laitteiden määrä vaikuttaa myös toisiopuolien virtauksien suuruuteen, R-siirtimellä virtauksen ollessa 160 L/min ja RT-siirtimellä noin 680 L/min.

13 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Seuraavissa kappaleissa on ehdotettu toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on parantaa rakennuksen energiankäyttöä, sekä edistää rakennusten lämpimänä pysymistä, vaikka kattiloilla ei tuotantoa olisikaan.

13.1 Lisäeristys

R- kattilarakennuksessa on neljännessä kerroksesta ylöspäin itä- ja länsiseinillä eristämätöntä seinäpinta-alaa noin 800 m². Koska R-kattilarakennus ei enää palvele alkuperäistä käyttötarkoitustaan energiantuotannossa, rakennuksen ulkovaipan voisi päivittää vastaamaan rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä ulkovaipan lämmönläpäisykertoimen määräyksiä lämpöhäviön minimoimiseksi, vaikka rakentamismääräyskokoelman määräykset eivät koskekaan tuotantorakennuksia, joissa tuotantoprosessi itsessään luovuttaa suuren määrän lämpöenergiaa. Rakennuksen ulkovaipan päivittämisellä voitaisiin vähentää laitoksen sisäisen lämmitysjärjestelmän käyttämää kaukolämmön kulutusta.

Rakentamismääräyskokoelman mukaan uudisrakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittuvan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 0,60 W/(m²K).

13.2 Kiertoilmakojien lisäys

Tarkasteltaessa R-kattilarakennuksen lämmitysjärjestelmää voidaan ajatella, että rakennus jakautuisi kahtia neljännen kerroksen kohdalla, jossa on yhtenäinen betonilattia. Rakennuksen alapuolisen osan voisi lämmittää jo olemassa olevat neljä kiertoilmakojetta ja neljänteen kerrokseen olisi mahdollista asentaa lisää kiertoilmakojeita hoitamaan rakennuksen yläpuolisen osan lämmityksen. Myös kerrosten välisten nostoaukkojen peittäminen voisi tulla ajankohtaiseksi lämmittimiä lisättäessä, olettaen että nostotarpeita ei lopetetulla R-kattilalla enää ole.

R- ja RT-vaihtimien tehomittauksien sekä kuormaselvitysten perusteella, etenkin R-lämmönsiirtimelle olisi mahdollista kytkeä lisää laitteita, molemmat siirtimet ovat 2000 kilowatin siirtimiä, joten kytkentävaraa RT-siirtimestäkin löytyy. Jos kiertoilmakojeita lisättäisiin R-rakennuksen neljänteen kerrokseen, lähimmät runkolinjat olisivat RT-vaihtimen runkolinjat, jotka kulkevat neljännessä kerroksessa rakennusten läpi kulkevan kuljettimen yläpuolella.

13.3 Vuotoilman lämpöhäviöiden minimointi

Rakennuksissa on huomattava määrä ulkoilmasäleikköjä, poistopuhaltimia, savunpoistoluukkuja, sekä muita ulkoilmaan johtavia aukkoja. Mahdolliset ylimääräiset luukut, sekä tarpeettomasti auki olevat luukut tulisi sulkea, sekä ulkoilma tulisi johtaa rakennukseen hallitusti. Tilanteissa, jolloin kattilalla ei ole tuotantoa, tulisi myös tarkastella mahdollisuutta tuloilman johtamiselle rakennukseen ainoastaan lämmitettyjen tuloilmakoneiden kautta.



Kuva 8. Purkutöistä jääneitä reikiä rakennuksen ulkoseinässä

13.4 Hukkalämmön hyötykäyttö R-kattilarakennuksen lämmityksessä

R-kattilarakennuksen vieressä, vesilaitoksen seitsemännessä kerroksessa sijaitsevat laitoksen syöttövesisäiliöt sekä kaupungin kaukolämpöverkon paisuntasäiliö, joista johtuu tilaan huomattava määrä lämpöenergiaa. Tilaan asetetusta Miran DLS -lämpötilamittauksesta käy ilmi, että tilan keskimääräinen lämpötila pysyttelee noin 46 °C tienoilla.

Tilan tuuletukseen käytetään kahta poistoilmapuhallinta, joista toinen poistaa huoneilmaa ulkoilmaan ja toinen R-kattilan yläkerrokseen. Tilan sisälämpötilan perusteella poistopuhaltimien toiminta on riittämätöntä, ja tilan tuuletuksen tehostamiseksi sekä säiliöistä johtuvan hukkalämmön hyötykäyttämiseksi huoneen poistoilman määrää R-kattilan puolelle tulisi tehostaa. Tällä tavoin poistoilman ohjausta ulkoilmaan voitaisiin vähentää.

13.5 Lämpötilaseurannan toteutus

Koska mittausajankohtana ulkolämpöolosuhteet olivat melko leutoja, tulisi kattilarakennuksien sisälämpötiloja seurata pidemmällä aikavälillä. RT- kattilalla sisälämpötilojen historiatietoja voidaan seurata palamisilmapuhaltimen lämpötilamittauksen avulla. Mittaus tosin sijaitsee rakennuksen yläosissa, joten rakennuksen alaosiin sijoitettavalla mittauksella voitaisiin seurata sisäilmalämpötiloja laajemmalla alalla.

R-kattilalla on myös ollut käytössä lämpötilamittaus palamisilmapuhaltimilla, mutta mittaukset on poistettu nykyisestä automaatiojärjestelmästä. Vanhan mittausanturin käytön mahdollisuutta tulisi harkita.

13.6 Lämmönsiirtimien toiminnan tarkastus

Nykyisessä tilanteessa, jossa kattiloiden ajotapa on muuttunut, tulisi R- ja RT-lämmönsiirtimien ohjauksen ajantasaisuus tarkastaa säätökäyrästä osalta. Siirtimien tehomittauksista ilmi käyneiden toisiopuolien menovesien lämpötilojen seilaaminen tuntitasolla, etenkin R-vaihtimen osalta, nostaa esille siirtimien kaukolämmön säätöventtiilien toiminnan puutteellisuuden. Tiettyinä ajankohtina toisiopuolen menoveden lämpötila ylitti siirtimen suunnitellun maksimiarvon kymmenellä asteella.

Myös R-siirtimen toisiopiirin kunnan tarkastelu on ajankohtainen, verkostopaineen jatkuvan putoamisen takia.

Siirtimien säätökäyrästäjä muutettaessa tulisi myös sisäisen lämmityspiirin linjasäätöventtiilit käydä läpi verkoston toimivuuden varmistamiseksi.

Lisäksi lämmönvaihtimien puhdistus lienee ajankohtaista, vaihtimien ollessa vuodelta -97, eikä puhdistuskertoja haastattelujen pohjalta ollut tiedossa. Lämmönsiirtopintojen likaantuminen on levysiirtimien useimmin esiin tuleva ongelma ja jo hyvin ohut lika-kerros levyn pinnalla heikentää lämmönsiirtoa huomattavasti. (Kirjavainen 2013)

13.7 Tulo- ja poistoilmakoneiden ohjaus

Kuten lämmitysjärjestelmän ohjauksessa, myös rakennuksien ilmanvaihtokoneiden ohjauksen ajantasaisuus tulisi tarkistaa. Rakennuksien tuloilman osalta tulisi tarkastella mahdollisuutta ohjata raitisilmaa rakennukseen ainoastaan lämmitettyjen tuloilmakoneiden kautta tilanteessa, jolloin RT-kattilalla ei ole tuotantoa ja suurta palamisilman tarvetta ei näin ollen ole. Puhaltimien sekoitusosien toiminta tulisi myös todentaa, etenkin lämmittämättömät raitisilmapuhaltimet tulisi ohjata kierrättämään ainoastaan jo lämmennyt sisäilmaa.

Jos tuloilmaa johdettaisiin rakennukseen ainoastaan lämmitettyjen tuloilmapuhaltimien kautta, tulisi poistoilmapuhaltimien toimintaa tarkastella poistoilman ylityöittämisen estämiseksi. Osa poistoilmapuhaltimista voitaisiin todennäköisesti sulkea kattilan tuotannon ollessa keskeytettynä, jolloin ilmanvaihdon vuotohäviöitä saataisiin vähennettyä.

13.8 Omakäyttökaukolämmön kokonaismittauksen tarkistus

Suoritettujen R- ja RT-lämmönvaihtimien tehomittauksien sekä prosessivesien lämmitystietojen perusteella kaukolämmön omakäytön kokonaismittaus on vikaantunut. Kokonaismittauksen näyttäessä käytön olleen 300-400 kilowatin luokkaa jo pelkästään mekaanisesti puhdistetun veden lämmityksen omakäyttö on mittauksien mukaan ollut kahden megawatin tienoilla. Kokonaismittauksen tiedoissa on myös mahdollisuus pilkkuvirheeseen, jolloin omakäyttö olisi 3-4 megawatin luokkaa.

14 YHTEENVETO

Laitoksella suoritetun katselmuksen pohjalta sekä kattilarakennuksissa tehtyjen mittauksien pohjalta, kattilarakennuksien lämmitysjärjestelmät toimivat nykyiselläänkin tarvittavalla tasolla. Kattilarakennuksilla tehdyistä lämpötilamittauksista käy ilmi, että rakennusten sisälämpötila pysyttelee reilusti plus lämpötila-asteiden puolella ulkolämpötilan ollessa kymmenen pakkasasteen tienoilla. Näin ollen jäätymisvaurioita rakennukseen ei pienillä pakkasasteilla vielä pääse syntymään. Pakkasten kiristyessä sekä kylmän ajanjakson pitkittyessä RT-kattila todennäköisesti tukee kaukolämmöntuotantoa ja samalla lämmittää itse kattilarakennuksia.

Rakenteiden ruostumisen kannalta huoneilmankosteuden mittauksista voidaan huomata rakennuksien ilmankosteuden pysytelleen pääsääntöisesti 50 RH-% alapuolella. ISO 9223 mukaan merkittävää korroosiota todennäköisesti ilmenee, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 80% ja lämpötila on yli 0 °C. Korroosioon riittävä vesikalvo on olemassa, kun ilman suhteellinen kosteus on 80-90%. Tällöin pinta on märkä, vaikka näkyvää kosteutta ei olekaan. Lämpötilan vaikutus korroosion syntymiseen on ristiriitaista, koska lämpötilan nousu edistää syöpymistä kosteuden pysyessä vakiona, kun taas toisaalta lämmön vaikutuksesta metallipintojen kuivuminen nopeutuu. (Aalto yliopisto 2015)

LÄHTEET

Pori Energia Oy:n kotisivut. Viitattu 3.4.2020. <https://www.porienergia.fi>

Huhtinen, M. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita.

Suomen RakMK D5. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto

Pietiko Oy:n kotisivut. Viitattu 25.3.2020. <https://www.pietiko.fi>

Vanhala, O. 2013. Voimalaitoksen sisäisen lämmitysjärjestelmän kartoitus. AMK-pinnäytetyö. Satakunnan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.03.2020.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201304054017>

Hytönen, J. 2010. Voimalaitoksen energiataseen analysointi. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 29.03.2020.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010091413011>

Aalto yliopisto. 2015. MT-0.3301 Korroosionestotekniikan perusteet. Luento Aalto yliopiston Kemian ja materiaalitieteiden laitos. 9.10.2015

Kirjavainen, M. 2013. Lämmönsiirtimen huolto on asiantuntijatyötä. Viitattu 27.04.2020. <https://promaintlehti.fi>

Pori Energian henkilökunnan haastattelut

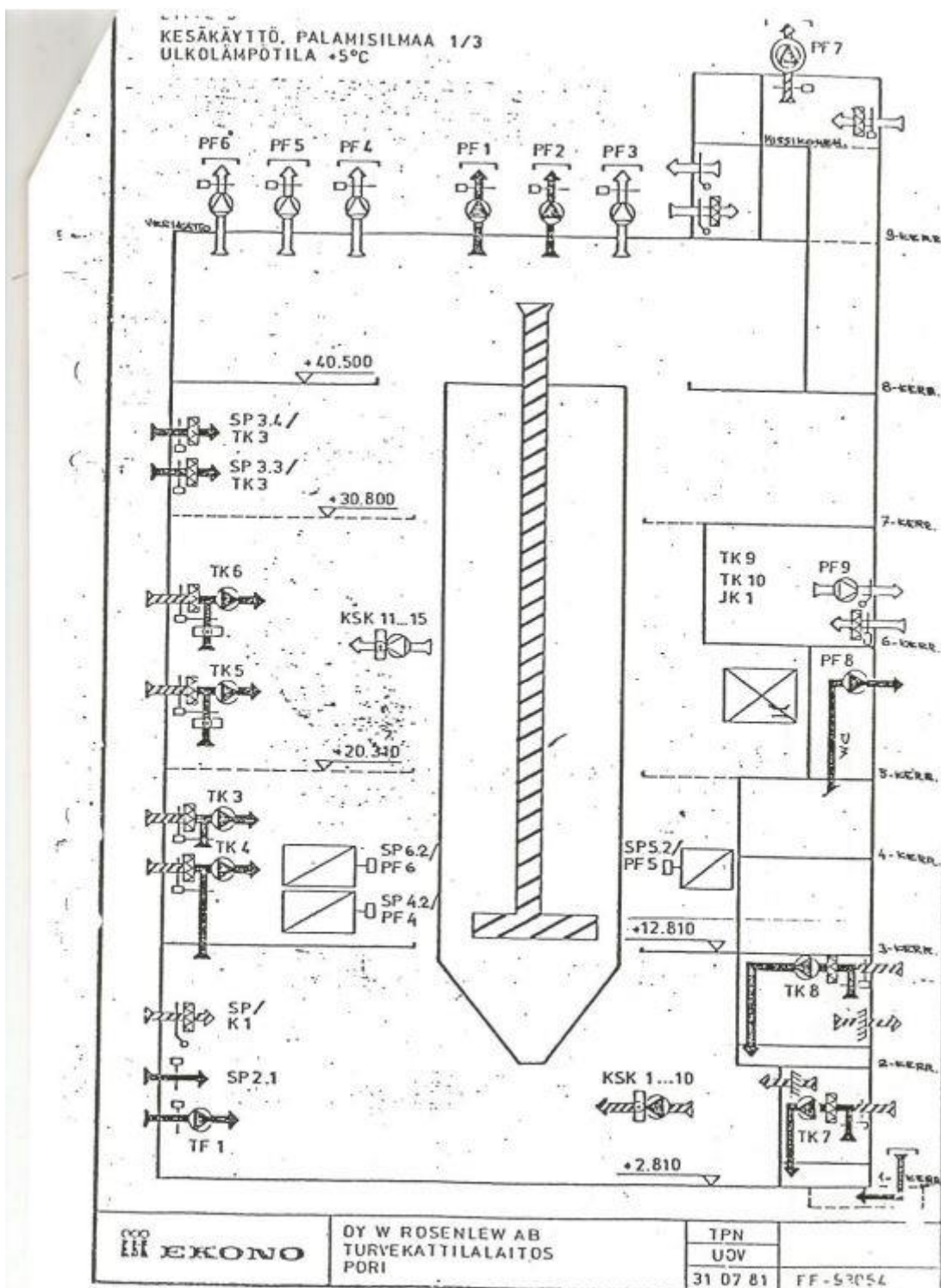
Suomen RakMK C4. 2003 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto

Suomen RakMK D3. 2012 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto

Pori Energia A-kattila esittelymateriaali 27.2.2020

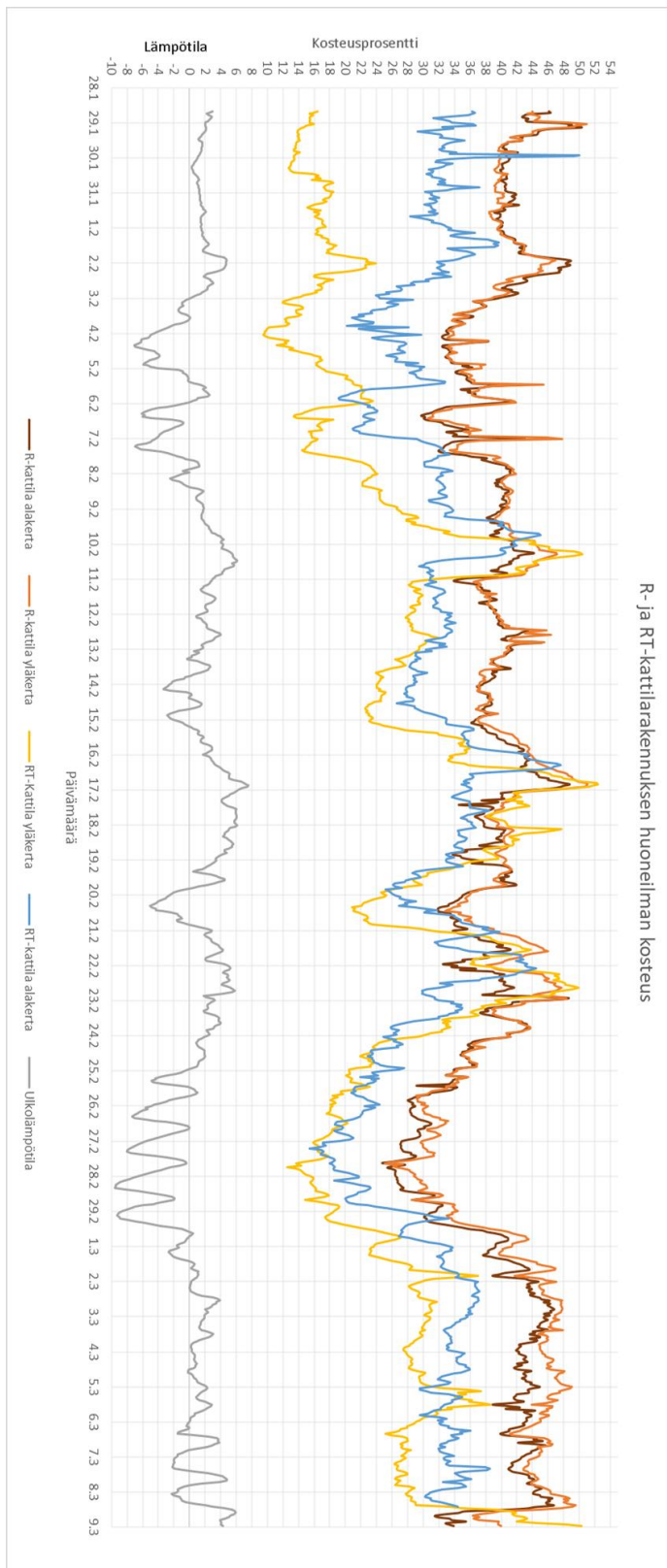
LIITE 1

Liite 1. RT-kattilarakennuksen palamisilmapuhaltimet.



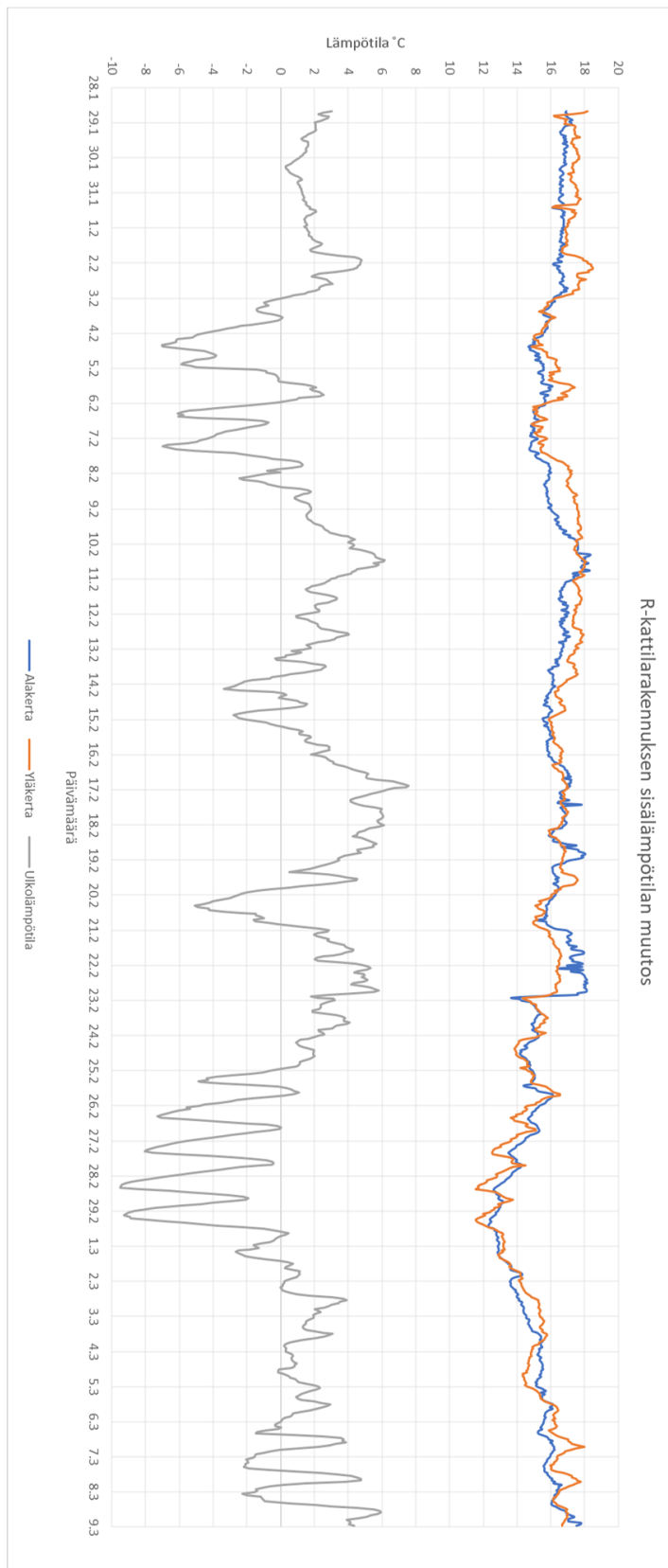
LIITE 2

Liite 2. R- ja RT-kattilarakennuksien huoneilman kosteudet suhteessa ulkolämpötilaan aikavälillä 28.1-9.3.2020



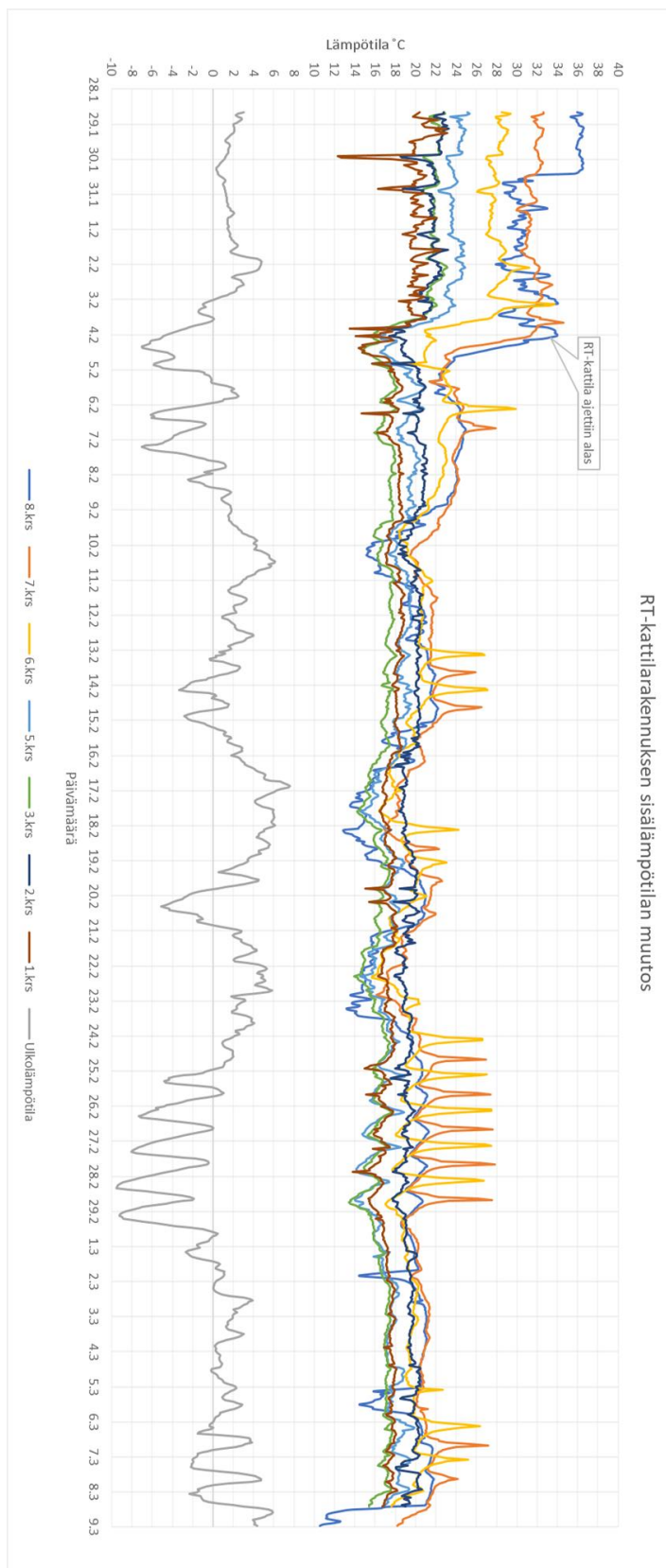
LIITE 3

Liite 3. R-kattilarakennuksen sisälämpötilan muutos suhteessa ulkolämpötilan muutokseen.



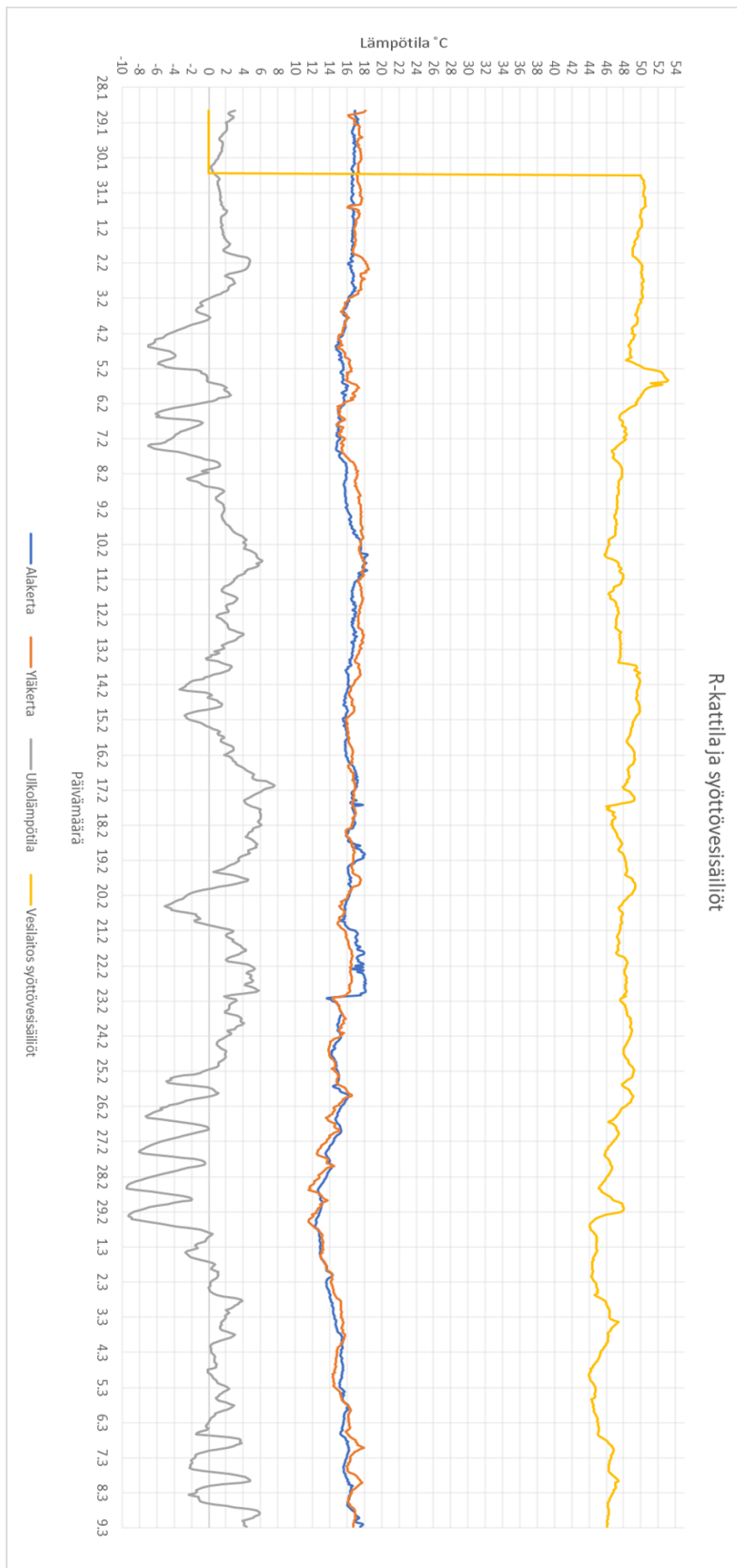
LIITE 4

Liite 4. RT-kattilarakennuksen sisälämpötilan muutos suhteessa ulkolämpötilan muutokseen.



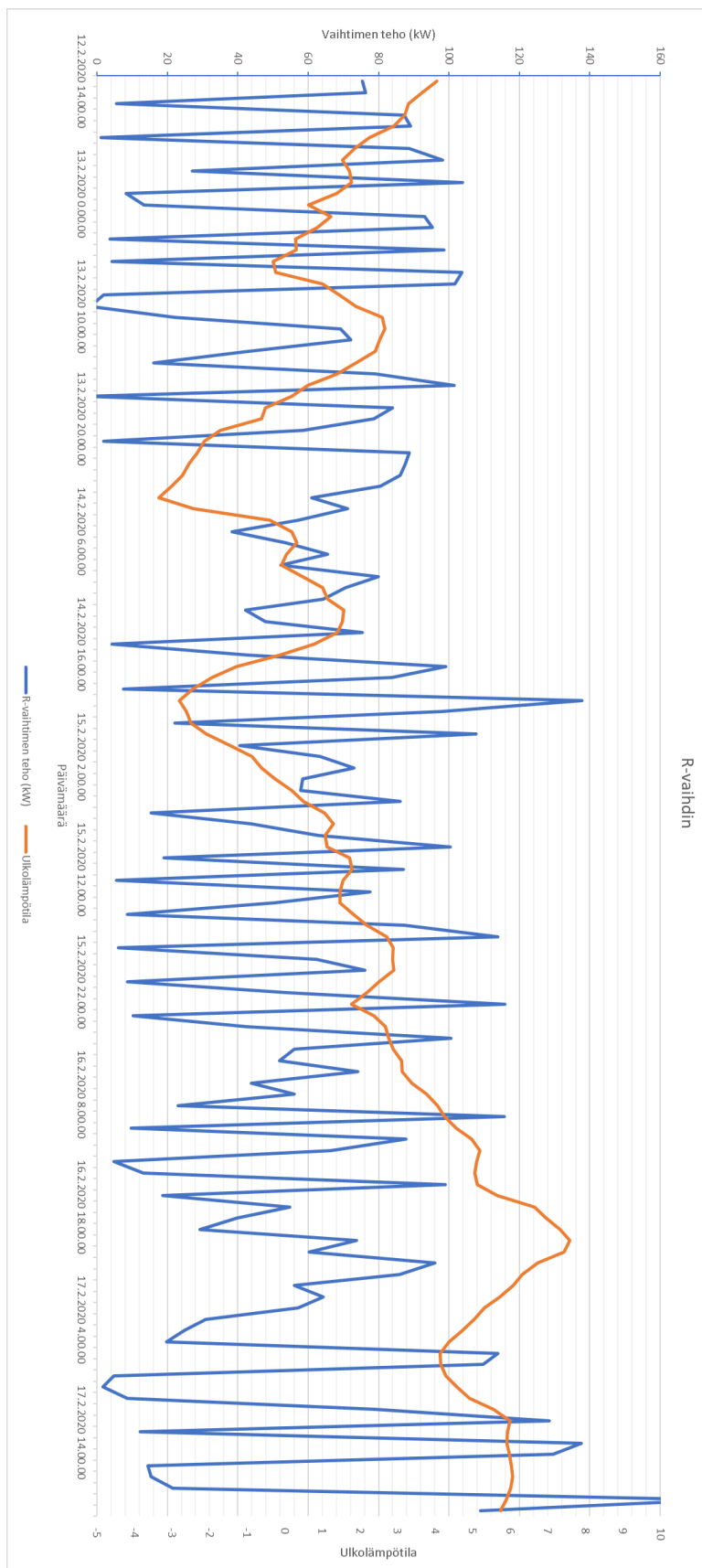
LIITE 5

Liite 5. Syöttövesisäiliö huoneen lämpötila suhteessa R-kattilarakennuksen ja ulkoilman lämpötilaan.



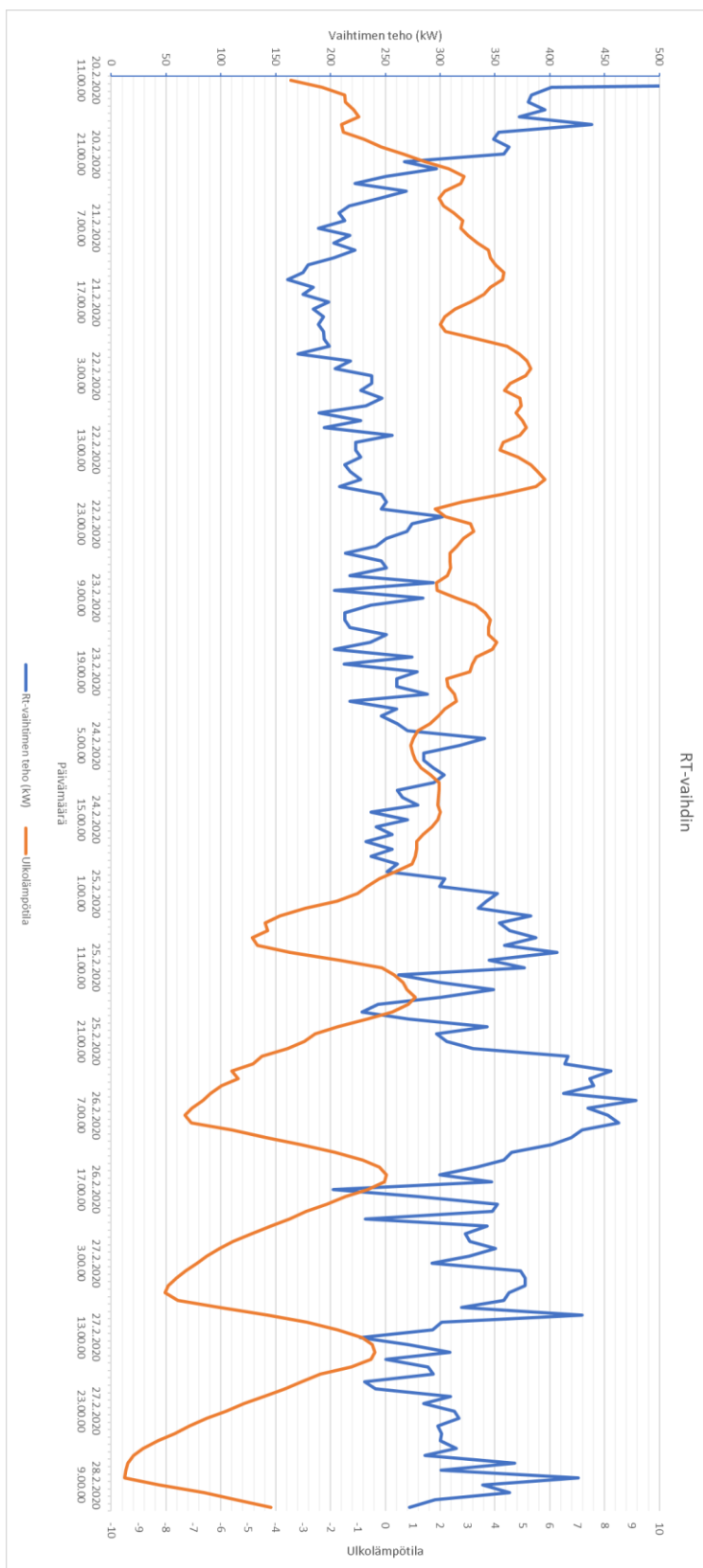
LIITE 6

Liite 6. R-lämmönsiirtimen tehovaihtelu mittausjaksolla 12.2-17.2.2020



LIITE 7

Liite 7. RT-lämmönsiirtimeen tehovaihtelu mittausjaksolla 20.2-28.2.2020



LIITE 8

Liite 8. Kaukolämmön omakäytön kulutus kohteittain mittausjaksolla 12.2-28.2.2020

