

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikan koulutus

LVI-tekniikka

2021

Joni Bätman

ROTAATIOVALUKONEEN PROSESSILÄMMÖN TALTEENOTTO

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan koulutus | LVI-tekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta | 54 sivua, 2 liitesivua

Ohjaaja

Juha Leimu, Turun AMK

Joni Båtman

ROTAATIOVALUKONEEN PROSESSILÄMMÖN TALTEENOTTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tarjota tietoa teollisuudessa muodostuvasta hukkalämmöstä. Suurin osa teollisuudessa muodostuvasta hukkalämmöstä muodostuu jonkin tuotantoprosessin yhteydessä. Useassa tilanteessa yritys ei ole tietoinen omien tuotantoprosessien yhteydessä muodostuvasta hukkalämmön energiapotentiaaleista. Työn tavoitteena on antaa käsitys teollisuudessa muodostuvan hukkalämmön mukana karkaavasta ilmaisesta lämpöenergiasta. Työssä kartoitetaan erään kotimaisen yrityksen rotaatiovalukoneen käytöstä muodostuvan hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia. Tavoitteena on luoda yritykselle lämmöntalteenottojärjestelmä, jonka avulla rotaatiovalukoneen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää siirtämällä lämpöenergiaa johonkin toiseen kiinteistössä olemassa olevaan järjestelmään.

Tavoitteen saavuttamiseksi ensimmäiseksi selvitettiin rotaatiovaluprosessin toiminta, sekä prosessista muodostuvan hukkalämmön määrä. Kohteessa tutkittiin rotaatiovaluprosessin eri vaiheita ja selvitettiin millä tavalla muodostuvaa hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää. Kun rotaatiovaluprosessista muodostuvan hukkalämmön määrästä oli saatu käsitys, kartoitettiin kiinteistössä olemassa olevia järjestelmiä, joihin lämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää. Hukkalämmön hyödyntämiskohde valittiin esittämällä yritykselle hyödyntämisvaihtoehdot, joista yrityksen henkilöstön kanssa valittiin paras vaihtoehto jota lähdettiin suunnittelemaan. Lämmöntalteenottojärjestelmän komponentteja mitoittaessa työssä käytettiin eri tuotevalmistajien teknisiä esitteitä ja mitoitussuunnitelmia apuna.

Työssä esitellään ratkaisu hukkalämmön talteenotolle, jolla rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta lämpimästä savukaasusta saadaan talteenotettua lämpöenergiaa. Lämmöntalteenottojärjestelmästä luodaan yritykselle järjestelmäkaavio, jossa on esitetty järjestelmän pääkomponentit. Järjestelmäkaavion lisäksi opinnäytetyössä esitetään lämmöntalteenottojärjestelmän sekä komponenttien toiminnasta toimintaselostus. Toimintaselostuksen tarkoituksena on yksilöidä sitä, kuinka lämmöntalteenottojärjestelmän eri komponentit toimivat ja mikä niiden tarkoitus on osana järjestelmän kokonaisuutta. Opinnäytetyön lopussa esitetylle lämmöntalteenottojärjestelmän komponenteille esitetään yksikköhinnat sekä selvitetään koko investoinnin taloudellinen kannattavuus.

ASIASANAT:

LVI, lämmöntalteenotto, rotaatiovalukone, hukkalämpö

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Education and training in technology | HVAC

2021 | 54 pages, 2 pages in appendices

Instructor

Juha Leimu, Turku University of Applied Sciences

Joni Båtman

PROCESS HEAT RECOVERY OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE

The aim of the thesis is to provide information on waste heat generated in industry. Most of the waste heat generated in industry is generated along with some production processes. In many situations, the company is not aware of the energy potential of the waste heat that is generated with its own production processes. The aim is to give an idea of the free heat energy escaping with the waste heat formed by the use of a rotational molding machine in a domestic company. The aim is to create a heat recovery system for the company, which could be used to utilize the waste heat from a rotational molding machine by transferring heat energy to another existing system in the property.

In order to achieve the aim, the operation of the rotational molding process and the amount of waste heat generated were first clarified. At the site, the different stages of the rotational molding process were examined and how the generated waste heat could be utilized was clarified. When the amount of the waste heat generated in the rotational molding process had been understood, the existing system in the property to which the heat energy could be utilized were surveyed. The waste heat utilization target was chosen by presenting the utilization options to the company. Together with the company staff, the best option was chosen for which the planning began. When dimensioning the components of the heat recovery system, technical brochures and sizing diagrams from different product manufacturers were used as an aid.

The thesis presents a solution for waste heat recovery, which can be used to recover heat energy from the warm flue gas flowing in the exhaust duct of a rotational molding machine. A system diagram of the heat recovery system is created for the company, showing the main components of the system. In addition to the system diagram, the thesis presents an activity report of the heat recovery system and the components. The purpose of the activity report is to identify how the various components of the heat recovery system work and what their purpose is as a part of the whole system. Unit prices are presented for the heat recovery system components introduced at the end of the thesis, and the financial profitability of the entire investment is determined.

KEYWORDS:

HVAC, Heat recovery, Rotational molding machine, Waste heat

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	8
2.1 Rotaatiovaluprosessi osana tuotantoa	8
2.2 Työn tavoitteet	12
3 HUKKALÄMPÖ	14
3.1 Lämmöntalteenotto yleisesti	16
3.2 Kohteen rotaatiovalukoneen ylijäämälämpö	20
3.3 Hukkalämmön käyttökohteiden kartoitus kohteessa	24
3.3.1 Lämmitysjärjestelmä	24
3.3.2 Ilmanvaihto	25
3.3.3 Pihasulatus	26
3.3.4 Varastohallin ylläpitolämmitys	27
3.3.5 Työprosessit	27
3.3.6 Käyttövesi	28
3.4 Hukkalämmön hyödyntämiskohteen valinta	28
4 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN MITOITUS	29
4.1 Lämmöntalteenottojärjestelmän pääkomponentit	30
4.1.1 Lämmönsiirtimet lämmitysverkostoihin	31
4.1.2 Lämmöntalteenottolaite pakokaasukanavaan	31
4.1.3 Ulospuhalluslaite savukaasukanavaan	34
4.1.4 Putkisto ja kanavistot	34
4.1.5 Varaaja	37
4.1.6 Paisunta-automaatti	37
4.1.7 Kiertovesipumput	39
4.1.8 Säätolaitteet	41
4.1.9 Automaatio	45
4.2 Järjestelmän toiminta	45
5 INVESTOINTI	47
5.1 Käytönaikaiset kustannukset	49
6 INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS	51

7 YHTEENVETO	52
---------------------	-----------

LÄHTEET	53
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. Järjestelmäkaavio	
Liite 2. Lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitus	

KAAVAT

Kaava 1. Lämmöntalteenottoteho	22
Kaava 2. Ilman tiheys.	22

KUVAT

Kuva 1. Rotaatiovalukoneen palotila.	9
Kuva 2. Spider-varsi.	10
Kuva 3. Jäähdytysvaiheen puhaltimet.	11
Kuva 4. Primäärienergia, sekundäärienergia ja ylijäämälämpö.	14
Kuva 5. Levylämmönsiirtimen toiminta periaate.	17
Kuva 6. Pyörivän lämmönsiirtimen toimintaperiaate.	18
Kuva 7. Vaahdotustilaa palveleva ilmanvaihtokone.	26
Kuva 8. Yrityksen varastohalli sisäpuolelta.	27
Kuva 9. Lämmöntalteenottolaitteen rakenne.	33
Kuva 10. Pyöreän ilmanvaihtokanavan painehäviökäyrästä.	35
Kuva 11. Lämpöjohtojen mitoitus taulukko.	36
Kuva 12. Servitec 60 paisunta-automaatti.	38
Kuva 13. PU-1 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste.	39
Kuva 14. PU-2 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste.	40
Kuva 15. PU-3 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste.	40
Kuva 16. PU-4 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste.	41
Kuva 17. ThermoMix 2.0 säätökäyrästä.	42
Kuva 18. DN40 STAD linjasäätöventtiilin säätökäyrästä.	43
Kuva 19. DN50 STAD linjasäätöventtiilin säätökäyrästä.	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Ylijäämälämmön potentiaali toimialoittain vuoden 2010 selvityksen mukaan.	15
---	----

Taulukko 2. Lämmöntalteenottolaitetyyppien tyypilliset hyötysuhteet.	16
Taulukko 3. Arvio palotilassa olevan polttimen päälläolo ajasta.	21
Taulukko 4. Yrityksen kaukolämpöjaketijalta ostamat energianmäärät vuosina 2015-2020.	29
Taulukko 5. Komponenttien yksikköhinnat.	47
Taulukko 6. Kiertovesipumppujen käytönaikaiset kustannukset.	50

KAAVIOT

Kaavio 1. Pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan vaihtelut mitatun työvuoron aikana.	20
Kaavio 2. Rotaatiovalukoneen savukaasusta talteenotettava maksimaalinen lämpöenergian määrä 5 minuutin ajanjakoilta.	23
Kaavio 3. Savukaasusta talteenotettava lämpöenergian määrä eri savukaasun lämpötiloilla.	32

1 JOHDANTO

Erään kotimaisen teollisuusyrityksen keskeisin osa tuotantolinjaa on rotaatiovalu. Yrityksen tuotanto toimii kolmessa vuorossa. Rotaatiovalukoneen palotilan mitat ovat 5,5 m x 5,5 m x 5 m (korkeus x leveys x syvyys) eli palotilan tilavuudeksi tulee noin 150 m³. Rotaatiovalukoneen palotilaa lämmitetään omalla polttimella, joka käyttää polttoaineena propaanikaasua. Lämmityksen aikana rotaatiovalukoneen palotilan sisälämpötila nousee 270 °C:seen. Rotaatiovalukoneen palotilasta puhalletaan vakionopeudella savukaasua pois pakokaasukanavaa pitkin kiinteistön ulkoseinästä ulos. Myös samalla kun palotilan oviluukut aukaistaan, pääsee palotilasta karkaamaan valtava määrä lämpöenergiaa tuotantotilaan.

Opinnäytetyössä yritys haluaisi selvittää mahdollisuuden hyödyntää rotaatiovalukoneen käytöstä muodostuvaa hukkalämpöä. Opinnäytetyön alussa selvitetään rotaatiovalukoneen pakokaasukanavan kautta virtaavan savukaasun sisältämä lämpöenergia, joka tällä hetkellä puhalletaan hyödyntämättä suoraan ulos. Opinnäytetyön edetessä kartoitetaan yrityksessä olemassa olevat järjestelmät, johon hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää. Kun hukkalämmön mahdolliset hyödyntämiskohteet on kartoitettu, valitaan toimeksiantajan kanssa paras hyödyntämisvaihtoehto, jonka hyödyntämistä syvennetään opinnäytetyön edetessä.

Opinnäytetyön valmistuttua on tarkoitus esittää kohteen yritykselle lämmöntalteenottojärjestelmästä ja sen pääkomponenteista järjestelmäkaavio, jossa näkyy peruseriaate järjestelmän kokonaisuudesta. Järjestelmän selkeyttämiseksi toimeksiantajalle esitetään lyhyt toimintaselostus, jonka tarkoituksena on selventää, kuinka lämmöntalteenottojärjestelmä ja siinä olevat komponentit toimivat. Lopuksi järjestelmän pääkomponenteista esitetään yksikköhinnat esimerkki tuotteiden kanssa, jolloin saadaan koko investoinnille suuntaa-antava hinta ja voidaan laskea investoinnille takaisinmaksuaika.

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyö toimeksiantajana toimii kotimainen yritys, jolla on toimipisteitä ympäri Suomea. Tämä opinnäytetyö keskittyy erääseen yrityksen tuotantolaitoksista, jonka tuotantoprosessin yksi tärkeimmistä osista on rotaatiovalukone. Rotaatiovalukone on ympäri-vuorokautisessa käytössä 5 päivää viikossa. Opinnäytetyössä keskitytään kyseisen rotaatiovalukoneen käytöstä muodostuvan prosessilämmön talteenottomahdollisuuksien sekä rotaatiovalukoneesta muodostuvan hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksien kartoittamiseen.

2.1 Rotaatiovaluprosessi osana tuotantoa

Tuotantolaitoksen keskeinen osa tuotantoa on karusellityyppinen rotaatiovalukone. Rotaatiovalu on korkeassa lämpötilassa ja matalassa paineessa tapahtuva valuprosessi, jolla tuotetaan yksiosaisia, onttoja kappaleita. Rotaatiovalukoneen palotilassa on noin 5,5 metriä korkeutta, 5,5 metriä leveyttä ja 5 metriä syvyyttä (kuva.1). Rotaatiovalukoneen palotilan tilavuus on siis hieman päälle 150 m³. Rotaatiovalukoneen palotilaan on liitetty erillinen 940 kW nestekaasupoltin joka lämmittää uunin palotilaa nestekaasulla. Rotaatiovalukoneen runko on rakennettu maalatuista putkiprofiileista, joissa on eristepaneelit. Eristepaneelit on valmistettu galvanoidusta kylmäpuristetusta levystä, jossa on vahviketaitto sekä mineraalikulitupäällyste, joka on kohtisuorassa levyihin nähden. Tämän ansiosta saavutetaan suurempi mekaaninen lujuus. Rotaatiovalukoneen seinämän paksuus on 120 mm, mikä takaa hyvän lämmöneristyksen.



Kuva 1. Rotaatiovalukoneen palotila.

Rotaatiovalukoneen automaatio pitää palotilan sisälämpötilan noin 270 asteisena, kun valuprosessi on käynnissä. Hyvän lämmöneristyksen ansiosta palotilan ulkoseinämän lämpötilaksi mittauksen yhteydessä saatiin 27 astetta. Rotaatiovalukoneessa on molemmin puolin liukuovet, joita ohjataan moottorin avulla. Liukuovet ovat 5,5 metriä korkeat sekä 5 metriä leveät. Sisäseinämä on vuorattu metallilevyllä, joka parantaa eristävyttä. Rotaatiovalukoneen palotilasta lähtee halkaisijaltaan 315 mm pakokaasukanava, jonka kautta rotaatiovalukoneen yhteydessä oleva puhallin puhalttaa 1,86 m³/s kuumaa ilmaa palotilasta kanavaa pitkin ulos.

Valmistettavat tuotteet ajetaan tuotevarsissa kiinni olevissa muoteissa rotaatiovalukoneen palotilaan. Jokainen tuotevarsi on varustettu pneumaattisella laitteella, jonka avulla tuotevarsi voidaan lukita turvallisuussyistä eri asentoihin. Tuotevarren kaikki mekaaniset voimansiirto-osat ovat termisesti käsiteltyjä. Erilaisia tuotevarsia on tuotannossa yleensä samanaikaisesti käytössä 2-3 vartta. Tuotevarret voivat olla joko ns. spider-varsia tai L-varsia. Spider-varsiin saadaan useampia muotteja samanaikaisesti kiinni muotin koosta riippuen (kuva 2). L-varsi on tarkoitettu lähtökohtaisesti kooltaan suurempien tuotteiden valmistamiseen. L-varteen saadaan kiinni yksi iso muotti.

Tuotantolaitoksen käytössä olevien muottien painot vaihtelevat valmistettavasta tuotteesta riippuen 50–1 000 kg. L-varteen liitettävät suuret muotit ovat halkaisijaltaan 1 000–1 600 mm ja pituudeltaan 2 000–4 000 mm.



Kuva 2. Spider-vasi.

Rotaatiovalukone on ympärivuorokautisessa käytössä viitenä päivänä viikossa. Mahdolliset muottien vaihdot sekä määräaikaishuollot keskitetään päivävuoroon, jolloin paikalla on mahdollisimman paljon työntekijöitä, näin tuotantoseisakit saadaan mahdollisimman lyhyiksi. Tuotantoprosessi alkaa muottien täytöllä, jolloin erilaiset raaka-aineet sekä seos-aineet punnitaan muotteihin. Täytetyt muotit ajetaan rotaatiovalukoneen palotilaan. Palotilan lämmitys käynnistyy 5 minuuttia ennen muotin ajoa uuniin. Lämmityksen aikana muotissa oleva raaka-aine sulaa nestemäiseksi. Muotti pyörii hitaasti kahden akselin ympäri koko lämmityksen ajan, tällä varmistetaan sulan raaka-aineen tarrautuminen muotin pinnalle. Muotin lämmitysaika riippuu valmistettavasta tuotteesta mutta keskimäärin tuote on noin 30-60 minuutin ajan palotilassa lämmityksessä. Lämmitysprosessin valmistuessa muotti siirtyy esijäähdytykseen. Esijäähdytys hoidetaan erillisellä puhaltimella, joka puhaltaa tehdashallissa olevaa ilmaa muottia päin (kuva 3). Muotti on esijäähdytysvaiheessa noin 15 minuutin ajan. Esijäähdytyksen jälkeen tuotevarsi siirtyy varsinaiseen jäähdytykseen. Jäähdytystä tehostetaan suurilla puhaltimilla, joita kohdekäynnin aikana oli yhteensä 5 kappaletta, näistä 3 puhallinta oli käytössä. Jokainen puhallin puhaltaa $11,11 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirtaa muotteja päin. Puhaltimiin on mahdollisuus liittää vesipiiri, joka viilentäisi puhallettavaa ilmaa mutta tätä ominaisuutta ei ole otettu yrityksen toimesta käyttöön. Muotin varsinainen jäähdytysvaihe kestää keskimäärin 20 minuuttia.



Kuva 3. Jäähdytysvaiheen puhaltimet.

Tuotteen jäähtyttyä muotissa oleva muovi jäähmettyy muotin seinämille. Työprosessin lopussa muotin kannet aukaistaan ja valmiit tuotteet poistetaan muoteista. Valmiin kappaleen lämpötila muotista pois oton yhteydessä on noin 40-50 °C. Ennen uusien raaka-aineiden laittoon muottiin, muotit puhdistetaan sekä muottiin lisätään irroitusainetta. Kokonaisia tuotantoprosessikiertoja tehdään valmistettavasta tuotteesta riippuen 4-7 kierrosta / työvuoro eli yhden vuorokauden aikana 12-21 kierrosta.

2.2 Työn tavoitteet

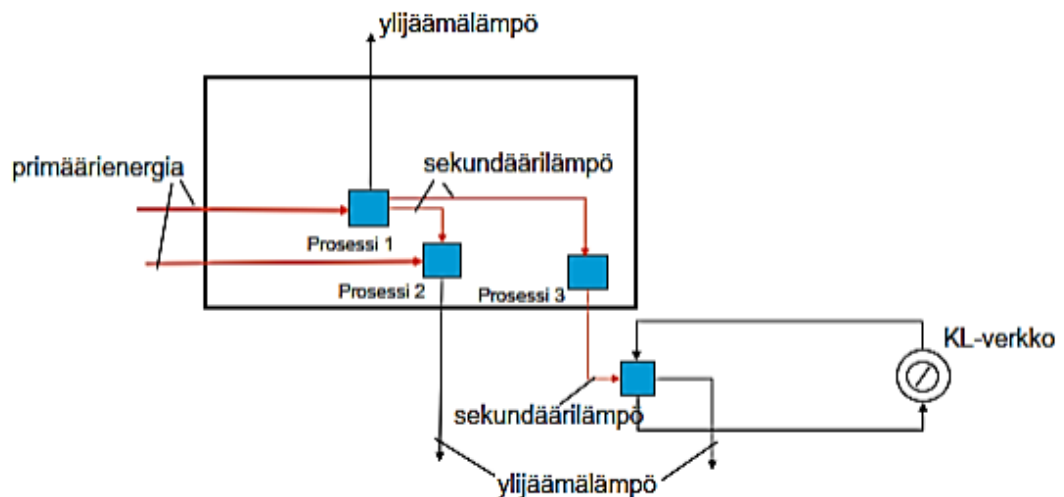
Toimeksiantajan toiveiden mukaisesti työn tavoite on selvittää rotaatiovalukoneen tuotantoprosessien yhteydessä muodostuvan hukkalämmön talteenotomahdollisuuksia eli miten palotilasta puhallettavasta pakokaasusta saadaan lämpöenergiaa talteenotettua ja mihin talteenotettua lämpöä voitaisiin hyödyntää. Tällä hetkellä rotaatiovalukoneesta muodostuvaa lämmintä savukaasua puhalletaan uunissa olevan pakokaasukanavan kautta suoraan tuotantohallin ulkoseinästä ulos hyödyntämättä sitä mitenkään. Tuotteen ollessa rotaatiovalukoneen palotilassa lämmityksessä, pakokaasukanavassa virtaa 1,86 m³/s 270 °C ilmaa. Kun palotilassa ei ole tuotetta lämmityksessä palotilan lämpötila laskee 60-70 °C. Pakokaasukanavassa oleva puhallin pyörii jatkuvasti vakio nopeudella, joten palotilasta poistuu myös polttimen ollessa kiinni 1,86 m³/s 60-70 °C ilmaa pakokaasukanavan kautta ulos. Muottien siirtyessä uuniin sekä poistuessa uunista uunin ovet aukeavat, jolloin uunin palotilasta vapautuu lämpöenergiaa tuotantohallin ilmatilaan. Rotaatiovalukoneen palotilan oven aukeaminen sekä takaisin kiinni meneminen kestää 3 minuuttia. Koska ennen tuotteen siirtämistä rotaatiovalukoneen palotilaan poltin käynnistyy ja rupeaa lämmittämään palotilaa, ovien avautuessa poltin on päällä ja pyrkii lämmittämään palotilaa 270 °C tavoitelämpötilaan, tällöin iso osa palotilan lämmöstä karkaa tuotantohallin ilmatilaan. Myös molemmissa jäähtyysvaiheissa kuumasta muotista säteilee koko jäähtyysprosessin ajan lämpöä tuotantohallin ilmatilaan. Rotaatiovalukoneen yläpuolella on kaksi savunpoistoluukkuja, joita pidetään jatkuvasti auki jottei rotaatiovalukoneesta säteilevä lämpö lämmitä tuotantohallin sisälämpötilaa liian suureksi.

Tavoitteena on selvittää paljonko nykytilanteessa rotaatiovalukoneen palotilasta puhalletaan niin sanottua ilmaista lämpöenergiaa savukaasukanavaa pitkin ulos hyödyntämättä sitä mihinkään. Tavoitteena on selvittää mahdollisimman laajasti mahdolliset talteenotetun lämpöenergian hyödyntämiskohteet. Tavoitteen saavuttamiseksi on ensimmäisenä selvitettävä tuotantolaitoksen lämpöenergiaa tarvitsemat järjestelmät. Tällaisia

järjestelmiä ovat muun muassa tuotantolaitoksen nykyiset lämmitysjärjestelmät, ilmanvaihtokoneiden raitisilman esilämmitys ja joissakin tapauksissa hukkalämpöä voidaan hyödyntää tuotantolaitoksen toisessa tuotantoprosessissa. Kun tuotantolaitoksen lämpöenergiaa tarvitsevat järjestelmät on kartoitettu valitaan toimeksiantajan kanssa vaihtoehto, jonka toteuttamiseen tarvittavan järjestelmän pääkomponentit esitetään yksinkertaisen järjestelmäkaavion muodossa sekä järjestelmän pääkomponentit listataan yksikköhintojen kanssa. Yksikköhintojen avulla saadaan lämmöntalteenottojärjestelmälle laskettua suuntaa-antavat investointikustannus sekä investoinnin takaisinmaksuaika.

3 HUKKALÄMPÖ

Ylijäämälämpö eli hukkalämpö on lämpöenergiavirta, joka poistuu tuotantolaitoksesta esimerkiksi jäähdytysveden, erilaisten poistoilmojen, savukaasujen, jäteveden tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmön mukana. Kuva 4 havainnollistaa primäärienergian, sekundäärienergian ja ylijäämälämmön eroja. Primäärienergia on jalostamaton energia luonnollisessa muodossaan, tällaisia voivat olla esimerkiksi uraani, hiili tai vesivoima. Sekundäärienergia on jalostettua primäärienergiaa, kuten esimerkiksi bensiiniä tai sähköä. Teollisuuden sekundäärilämpö on teollisuuden prosesseista talteenotettua lämpöä. Energiatehokkuuteen tähtäävän yrityksen päätavoite on hyödyntää prosesseista ylijäävä sekundäärienergia muissa prosesseissa niin että ylijäämälämpöä muodostuu mahdollisimman vähän. (Motiva Oy 2019, 5-7.)



Kuva 4. Primäärienergia, sekundäärienergia ja ylijäämälämpö (Motiva Oy 2019).

Metsäteollisuus on Suomen teollisuusaloista ylivoimaisesti suurin energian käyttäjä, johon jälkeen tulevat kemian- ja metalliteollisuus. Suurin hyödyntämätön ylijäämälämpömäärä on myös edellä mainituissa teollisuusaloissa. Taulukossa 1 on esitetty ylijäämälämmön potentiaali toimialoittain vuoden 2010 selvityksen mukaan. Aikaisemmat selvitykset ovat arvioineet Suomen teollisuuden ylijäämälämmön tekniseksi potentiaaliksi 6-23 TWh/a. Teknisellä potentiaalilla tarkoitetaan lämpömäärää, jonka hyödyntäminen on olemassa olevalla tekniikalla mahdollista. Kaikki tekninen potentiaali ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavalla tavalla tavalla hyödynnettävissä. (Motiva Oy 2019, 5.)

Taulukko 1. Ylijäämälämmön potentiaali toimialoittain vuoden 2010 selvityksen mukaan. (Motiva Oy 2019).

Toimiala	Tekninen hyödyntämispotentiaali TWh / a	
	Alle 55°C	Yli 55°C
Elintarvike	1,7	0,5
Sahatavaran valmistus	0,9	0,7
Paperi- ja kartonkituotteiden valmistus	4,1	2,7
Öljytuotteiden valmistus	2,5	1,3
Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus	1,0	0,1
Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus	-	0,5
Metallien jalostus	0,9	2,0
Yhteensä	11,1	7,8

Ylijäämälämpöä kannattaa ensisijaisesti hyödyntää tuotantolaitoksen omissa prosesseissa ja mikäli se ei ole mahdollista, niin myydä saman teollisuusalueen toiselle toimijalle tai paikkakunnan kaukolämpöverkkoon. Ylijäämälämmön hyödyntämiseen liittyy niin teknisiä kuin kaupallisia haasteita. Teollisuusprosessit ovat usein mutkikkaita ja yrityksillä on iso kynnys lähteä muuttamaan niitä. Sen lisäksi tarvittavat investoinnit voivat olla isoja ja takaisinmaksuajat liian pitkiä. (Motiva Oy 2019, 5.)

Iso osa ylijäämälämmöstä on alle 100 °C ja jopa alle 55 °C, jonka takia mekaaniset lämpöpumput ovat tehokkain teknologia matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisessä. Uudet kuumalämpöpumput, jotka tuottavat yli 100 °C lämpöistä lämpöenergiaa kohtuullisella hyötysuhteella (COP-arvolla), voivat jatkossa mullistaa matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisen, sillä niillä voidaan tuottaa suoraan yli 100 °C kaukolämpöä, mikä vähentää kaukolämmön priimauksen tarvetta. (Motiva Oy 2019, 5.)

Jos ylijäämälämmölle ei löydy käyttöä tai se on kannattamatonta tai jopa mahdotonta sijainnin takia, sähkön tuottaminen ylijäämälämmöstä voi olla kannattavaa. Lupaavimmat menetelmät matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisessä sähköntuotannossa ovat ORC ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös termosähkögeneraattorit. Näiden teknologioiden heikkoutena on kuitenkin matala sähköntuotannon hyötysuhde

matalalämpöisestä hukkalämmöstä (<100 °C), hyötysuhde on tyypillisesti alle 10 %. (Motiva Oy 2019, 5.)

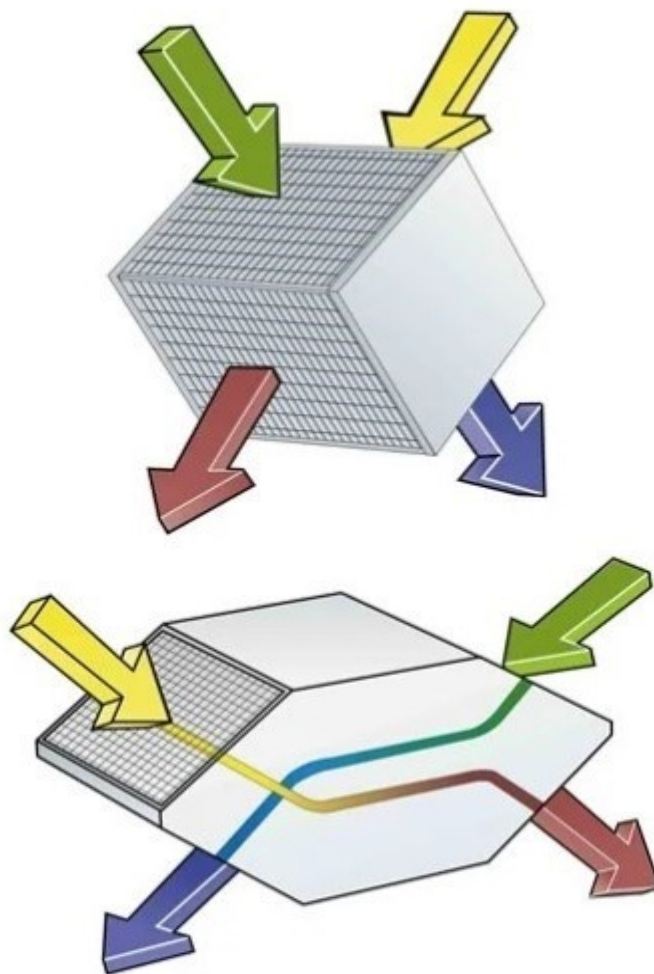
3.1 Lämmöntalteenotto yleisesti

Lämmöntalteenotto eli lyhennettynä LTO tarkoittaa, että kiinteistöstä ulos puhallettavan jäteilman lämpö hyödynnetään. Jäteilman lämpöenergia voidaan ottaa talteen välittäjäaineeseen, kuten ilmaan, veten tai glykoliin ja siirtää tarvittavaan käyttökohteeseen. Lämmöntalteenotto säästää lämmityskuluja. Taulukossa 2 on esitetty erityyppisten lämmöntalteenottotyyppien tyypilliset lämpötilahyötysuhteet. (Cervi Oy 2021.)

Taulukko 2. Lämmöntalteenottolaitetyyppien tyypilliset hyötysuhteet. (Sandberg 2016, 178-187.)

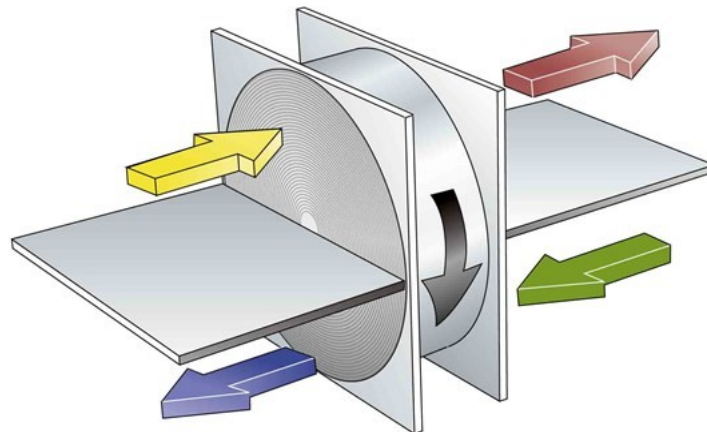
Lämmöntalteenottolaitetyyppi	Tyypillinen hyötysuhde
Nestekiertoinen	50%
Ristivirtalevylämmönsiirtimet	60-65 %
Vastavirtalevylämmönsiirtimet	75-85 %

Levylämmönsiirrin on lukumääräisesti eniten käytetty ilmanvaihdon lämmöntalteenotto-laitte (kuva 5). Eniten sitä käytetään pientalojen ilmanvaihdossa. Suosituksi sen tekee kustannustehokas rakenne, hygieenisuus ja kohtuullisen hyvä lämmöntalteenoton lämpötilasuhde. Levylämmönsiirtimiä on ristivirtatyypisiä ja vastavirtatyypisiä. Ristivirtavirtatyyppin levylämmönsiirrin muodostuu joukosta neliömäisiä levyjä. Ilma kulkee ristikkäin levyjen välissä, joka toisessa kanavassa lämmin poistoilma, joka toisessa kylmä ulkoilma, ja lämpö siirtyy levyjen läpi. Levyt ovat ohuita, ja ne on valmistettu hyvin lämpöä johtavasta materiaalista, jotta lämmönsiirtyminen olisi tehokasta. Vastavirtalevylämmönsiirtimessä on muutettu ristivirtaisen lämmönsiirtimen geometriaa siten, että ilmavirrat kulkevat enemmän toisiaan vastakkaisiin suuntiin. Se ei siis ole puhdas vastavirtasiirrin, vaan yhdistelmä näistä kahdesta. Lämpötilahyötysuhteessa on mahdollista saavuttaa huomattava parannus verrattuna ristivirtaan. Tällä hetkellä markkinoilla olevissa hyötysuhde on parhaimmillaan yli 80 %. (Sandberg 2016, 180 -183.)



Kuva 5. Levylämmönsiirtimen toiminta periaate (Swegon Oy 2021).

Pyörivä lämmönsiirrin koostuu kiekkomaisesta roottorista ja käyttölaitteistosta (kuva 6). Roottorin kotelo on jaettu kahteen puolikkaaseen, joista toiseen johdetaan poistoilma ja toiseen tuloilma. Roottori siirtää pyöriessään poistoilman lämmön tuloilmaan. Roottori on ohuesta alumiinilevystä tai keraamisesta materiaalista rakennettu kennorakenne, jossa on kolmion muotoisia virtauskanavia. Kanavat ovat hydrauliselta halkaisijaltaan niin pieniä, että virtaus on täysin laminaarista. Roottori toimii puhtaalla vastavirtaperiaatteella sekä ilman väliainetta, ja tämän takia sillä on hyvin korkea hyötysuhde. Pyörivät lämmönsiirtimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: kosteutta siirtämätömiin ja kosteutta siirtäviin eli hygroskooppisiin. Kosteutta siirtämätön roottori siirtää pääosin pelkkää tuntuvaa lämpöä, tosin tietyissä kosteusolosuhteissa saadaan myös jonkinasteinen kosteuden siirto. Hygroskooppinen roottori sitä vastoin siirtää kaikissa olosuhteissa sekä tuntuvaa lämpöä että latenttia lämpöä. (Sandberg 2016, 178.)



Kuva 6. Pyörivän lämmönsiirtimen toimintaperiaate (Swegon Oy 2021).

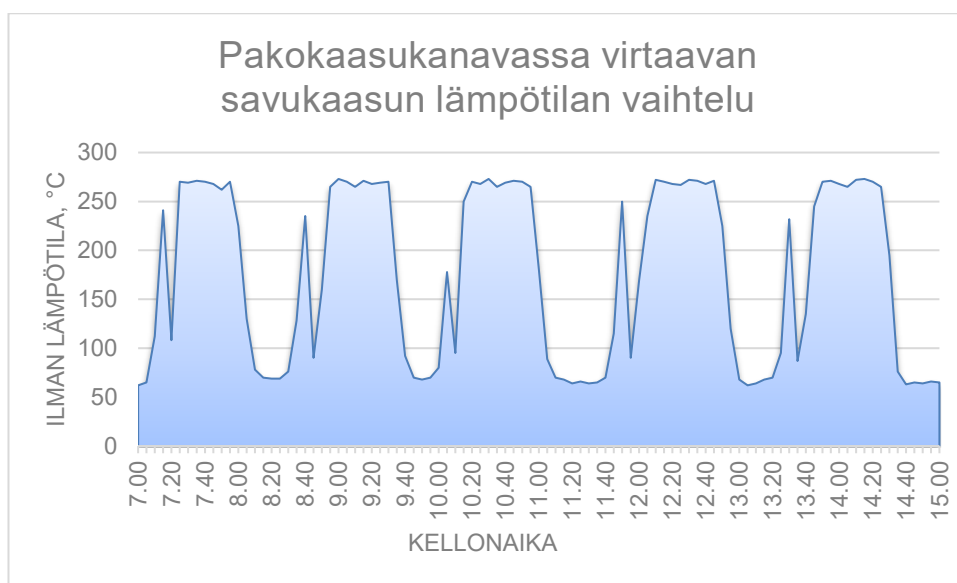
Pyörivä lämmönsiirrin ei kuitenkaan sovellu lämmöntalteenottomenetelmäksi, mikäli tulo- ja poistoilmavirtojen sekoittumista ei sallita. Pyörivässä lämmönsiirtimessä aina pieni osa poistoilmasta kulkeutuu pyörivän siirtimen mukana tuloilmaan ja päinvastoin. (Sandberg 2016, 179.)

Suomen rakennusmääräyskokoelman osa D2 määrää, että regeneratiiviseen lämmönsiirtimeen saa käyttää luokan 3 poistoilmaa (WC- ja pesutilat, saunat ja keittiöt) yhden perheen asunnon ilmanvaihdossa. Muissa tapauksissa luokan 3 poistoilmaa saa olla korkeintaan 5 % kokonaispoistoilmavirrasta. Luokan 4 poistoilmaa (ammattikeittiöiden kohdepoistot, pesuloiden likapyykkitilat ja tupakointihuoneet) ei saa käyttää regeneratiivisessa lämmönsiirtimessä lainkaan. (RakMK D2).

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä lämmön siirto poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu väliaineen, yleensä aina kiertävän nesteen avulla. Sekä poisto- että tuloilmavirrassa on ilmasta veteen lämmönsiirrin, rakenteeltaan samanlainen kuin lämmitys- tai jäädytyspatteri. Vesi lämpenee kulkiessaan poistoilmapatterin kautta, ja se johdetaan sitten tuloilmapatteriin, jossa vesi lämmittää tuloilman. Tilanteissa, jossa on vaarana nesteen jäätyminen, ei käytetä vettä vaan veden ja jäätyminenestoaineen seosta, jota kierrätetään pumpulla. Poistoilman lämmönsiirtimessä tapahtuu kosteuden tiivistymistä, joten se varustetaan kondenssialtaalla, josta johdetaan poistoputki vesilukon kautta lattiakaivoon. Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän lämmöntalteenotto-
tehon säätö tapahtuu nestevirtaa säätämällä. (Sandberg 2016, 184.)

3.2 Kohteen rotaatiovalukoneen ylijäämälämpö

Suurin määrä tarkasteltavan tuotantolaitoksen rotaatiovalukoneen ylijäämälämmöstä muodostuu kun tuote on lämmityksessä palotilassa ja yhtäaikaisesti rotaatiovalukoneen puhallin puhalttaa lämmintä ilmaa palotilasta pakokaasukanavaa pitkin ulos. Pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötilaa mitattiin yhden työvuoron ajan 5 minuutin välein pintalämpöanturilla. Mittauksen tulokset on nähtävillä kaaviossa 1.



Kaavio 1. Pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan vaihtelut mitatun työvuoron aikana.

Kaaviosta 1 voidaan lukea rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan ylijäämälämmön lämpötilat yhden työvuoron aikana. Lämpötilan mittausjakson aikana valmiita tuotevarsia oli rotaatiovalukoneen palotilassa lämmityksessä yhteensä 5 kertaa. Kaaviosta 1 käy ilmi, että tuotevarren ollessa lämmityksessä pakokaasukanavasta puhalletaan noin 270 °C lämmintä ilmaa suoraan ulos noin 30–45 minuutin ajan. Tämän jälkeen uunin ovi aukeaa ja pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötila viilenee noin 60–70 asteiseksi suhteellisen nopeasti. Kaaviosta 1 näkee myös selkeästi lämpötilan muutoksen, kun rotaatiovalukoneen palotilaa aletaan lämmittämään hetkeä ennen tuotevarren siirtoa palotilaan niin pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötila hetkellisesti nousee jopa 250 °C mutta tuotevarta ajaessa palotilaan aukaistaan palotilan ovi ja samalla suuri määrä lämpöenergiaa karkaa oviluukun avauksen seurauksena. Tämä näkyy kaaviossa 1 hetkellisenä pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötilan viilentymänä ennen varsinaista lämmitysprosessia.

Toimeksiantajan mukaan yhden työvuoron aikana tuoteet ovat rotaatiovalukoneen palotilassa lämmityksessä keskimäärin noin kolmen tunnin ajan. Tuotantolaitoksen rotaatiovalukoneen keskimääräinen käyttö vaihtelee tuotanto-ohjelman mukaan, joten täydellistä arviota palotilassa olevan polttimen käytöstä esimerkiksi kokonaisen vuoden aikana on mahdotonta laatia. Tuotantolaitoksen aikaisempien vuosien tuotantomäärien perusteella voidaan kuitenkin arvioida polttimen käyntiaikoja taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Arvio palotilassa olevan polttimen päälläolo ajasta.

Ajanjakso	Polttimen keskimääräinen päälläolo aika
Työvuoro	3,2 h
Vuorokausi	9,6 h
Viikko	48 h
Kuukausi	192 h
Vuosi	2304 h

Voidaankin todeta, että keskimäärin yhden vuoden aikana rotaatiovalukoneen puhallin puhaltaa pakokaasukanavan kautta 270 °C ilmaa yli 2 300 tuntia vuodessa. Puhaltimen puhaltaessa vakionopeudella 1,86 m³/s, tarkoittaa tämä sitä, että pakokaasukanavan kautta puhalletaan 270 °C ilmaa vuoden aikana 15 400 800 000 litraa hyödyntämättä sitä mitenkään. Tarkastellessa pelkästään rotaatiovalukoneen pakokaasukanavan kautta nykyisessä tilanteessa suoraan ulos puhallettavaa ylijäämälämmöstä saatavaa lämpöenergiaa, saadaan pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpöenergiapotentiaali laskettua kaavalla 1.

$$\Phi_{lto} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_{poisto} - T_{lto}) / 1000$$

Kaava 1. Lämmöntalteenottoteho (RakMK D5).

jossa

Φ_{lto}	Lämmöntalteenottoteho, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/kgK
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
T_{poisto}	poistoilmanlämpötila, °C
T_{lto}	lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila, °C
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Kaavalla 1 saadaan laskettua pakokaasukanavassa virtaavasta lämpimästä ilmasta talteenotettava lämpöenergian määrä sijoittamalla kaavaan pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötila sekä tavoiteltava lämmöntalteenoton jälkeisen ilman lämpötila. Ilman tiheys vaihtelee eri lämpötiloissa, joten lämmöntalteenottoteho tulee laskea korjattujen ilman tiheyksien avulla. Tietyn lämpöisen ilman tiheys saadaan selvitettyä kaavan 2 avulla.

$$\rho = P / R_i T$$

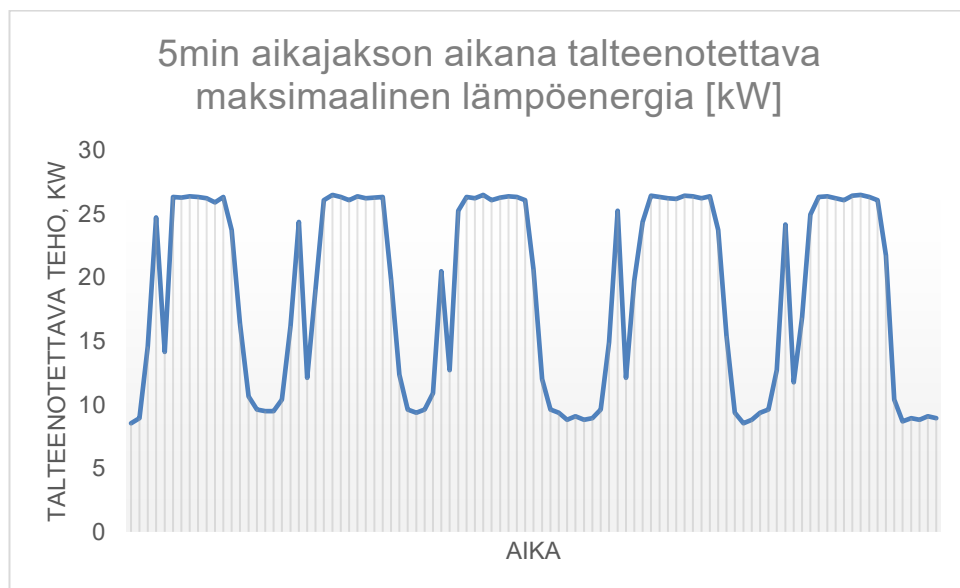
Kaava 2. Ilman tiheys.

jossa

ρ	Ilman tiheys, Kg/m ³
P	Ilman absoluuttinen paine, Pa
R_i	Ilman ominaiskaasuvakio, 287 J/KgK
T	Ilman lämpötila, K

Kun tuotantolaitoksen rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötila vaihtelee 270 °C ja 60 °C välillä, riippuen siitä onko palotilassa tuotetta lämmityksessä vai ei niin pakokaasukanavasta talteenotettavaa lämpöenergiaa määrää on tarkasteltava pakokaasukanavassa virtaavasta ilmasta suoritettujen lämpötilanmittaus datan perusteella. Pakokaasukanavassa virtaavan ilman lämpötilanmittaukseen käytettiin tallentavaa pintalämpöanturi, joka sijoitettiin pakokaasukanavan loppupäähän. Lämpöanturi tallensi poistoilman lämpötilan 5 minuutin välein. Laskettaessa pakokaasukanavasta talteenotettavaa lämpöenergiaa potentiaalia päätettiin, että poistoilman lämpötila mittausten väliin jäävän viiden minuutin ajan pysyy vakiona.

Ensimmäiseksi laskettiin pakokaasukanavassa virtaavasta lämpimästä poistoilmasta talteenotettava maksimaalisen lämpöenergiaa määrää kaavalla 1. Ulos puhallettavan ilman lämpötilaksi valittiin tässä vaiheessa 10 °C ja lämmöntalteenottolaitteelle tulevan poistoilman lämpötilaksi aina kullekin 5 minuutin ajalle pintalämpötila-anturin mittaama lämpötila. Jokaiselle pintalämpötila-anturin mittaamalle lämpötilalle korjattu ilman tiheys saatiin laskettua kaavalla 2. Pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan mittausta hetkellä ilman absoluuttinen paine oli 101 699 Pa. Rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan mittausta suoritettiin yhden työvuoron ajan, joten mittaustuloksia oli saatavilla 8 tunnin ajalta. 5 minuutin aikajaksoilta talteenotettava maksimaalinen lämpöenergia määrät näkyvät kaaviossa 2. Maksimaalista talteenotto- tehoa laskettaessa ulospuhallettavan ilman lämpötilaksi valittiin 10 °C.



Kaaviosta 2 voidaan todeta, että tuotteen ollessa rotaatiovalukoneen palotilassa lämmityksessä saadaan lasketuilla arvoilla 5 minuutin lämmöntalteenotolla yli 25 kW lämpöenergiaa talteenotettua. Kokonais talteenotettava lämpöenergian määrä lasketun ajanjakson ajalta olisi 1,83 MW. Tämä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta, vaan laskelman tarkoituksena oli havainnollistaa rotaatiovalukoneen lämmitysprosessissa muodostuvan prosessilämmöntalteenotto potentiaalia.

3.3 Hukkalämmön käyttökohteiden kartoitus kohteessa

Kun laskelmien avulla on saatu varmistus rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpöenergiantalteenotto potentiaalin määrästä, kartoitetaan seuraavaksi rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta talteenotettavan lämpöenergian hyödyntämismahdollisuuksia tuotantolaitoksessa. Kartoituksen tarkoitus on pohtia vaihtoehtoja, joihin talteenotettu lämpöenergia voitaisiin hyödyntää ja näin tuottaa yritykselle taloudellista säästöä. Tuotantolaitoksen nykyiset järjestelmät kartoitetaan hyödyntäen olemassa olevia LVIA-suunnitelmia ja kohdekäyntien yhteydessä tehtyjä havaintoja.

3.3.1 Lämmitysjärjestelmä

Yrityksen tuotantotilan lämmitysjärjestelmät on liitetty lämmönsiirtimien avulla paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Tuotantotilan lämmitys on hoidettu kattoon sijoitetuilla GEA MultiMAXX puhallinkonvektoreilla, jotka toimivat termostaattiohjatusti. Ohjaus on liitetty DDC-valvonta- ja ohjausjärjestelmään. Tuotantotilan katossa on yhteensä 11 puhallinkonvektoria. Sosiaali- sekä toimistotilojen lämmityksen hoitaa Purmon Compact teräslevyradiaattoreilla. Nykyisten lämmitysjärjestelmien lämpötilat ovat tyypilliset 70/40 eli me-noveden lämpötila on 70 °C ja paluuv veden lämpötila 40 °C.

Rotaatiovalukoneen lämmitysprosessissa muodostuvaa hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää nykyisissä lämmitysjärjestelmissä, ohjaamalla rotaatiovalukoneen pakokaasukanavasta talteenotettu lämpöenergia lämmönsiirtimen avulla lämmitysverkostoihin, jolloin tarve ostaa kaukolämpölaitokselta lämpöenergiaa vähenee, erityisesti viileinä vuodenaikoina.

3.3.2 Ilmanvaihto

Tuotantotilan ilmanvaihto on toteutettu tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmänä, joka on varustettu pyörivällä LTO-kiekolla, lämmityspatterilla ja tarvittavilla suodattimilla ja muilla varusteilla. Tuotantotilan ilmanvaihtokone on rakennettu 1. rakennusvaiheessa (2008) ja sitä ohjataan DDC-pohjaisella ohjaus- ja valvontajärjestelmällä. Nykyinen tuotantotilaa palvelevan ilmanvaihtokoneen maksimi ilmamäärä on 2 200 l/s.

Tuloilma on kanavoitu koko tuotantotilan osalta ja puhalletaan työskentelyvyöhykkeelle Fläktwoods PNA-B piennopeuslaitteilla. Ilmanpoisto toteutetaan normaalisti katon rajasta koko hallin osalta Fläktwoods EHI-400 poistoilmalaitteella. Tuotantotiloissa on myös työskentelypisteitä, jotka vaativat oman paikallispoiston. Paikallispoisto on toteutettu oman puhaltimen avulla ulkoseinästä ulos.

Toimisto- ja sosiaalitilojen ilmanvaihto on toteutettu omalla tulo- ja poistoilmanvaihtokoneella, joka on varustettu pyörivällä LTO-kiekolla, lämmityspatterilla ja tarvittavilla suodattimilla ja muilla varusteilla. Toimisto- ja sosiaalitiloja palvelevan ilmanvaihtokoneen maksimi ilmamäärä on 1 500 l/s. Ilmanvaihtokoneessa ei ole jäähdytys- tai viilennysominaisuuksia.

Toisessa rakennusvaiheessa tuotantotilaan rakennettiin vaahdotustila, joka on varustettu omalla Swegon Oy:n tulo- ja poistoilmanvaihtokoneella, jossa on LTO-yksikkö ja lämmityspatteri (kuva 7). Konetta ohjataan DDC-pohjaisella ohjaus- ja valvontajärjestelmällä. Vaahdotustilaa palveleva ilmanvaihtokoneen toiminta on asetettu niin, että kone on normaalitilassa puoliteholla ja se on saatavissa täydelle teholla tilassa sijaitsevaa huonesäädintä käyttäen. Täydellä teholla koko vaahdotustilan ilma vaihtuu 4 min välein, eli ilmanvaihto teho tässä tilassa on varsin hyvä.



Kuva 7. Vaahdotustilaa palveleva ilmanvaihtokone.

Rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta talteenotettavaa lämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää esilämmittämällä ilmanvaihtokoneen raitisilmaa, jolloin ilmanvaihtokoneessa olevaa lämmityspatteria ei tarvitsi käyttää niin suurella teholla tai mahdollisesti ollenkaan. Vaahdotustilaa palveleva ilmanvaihtokone sijaitsee rotaatiovalukoneen läheisyydessä, joten järjestelmän toteuttaminen ei vaatisi suuria määriä putkituksia ja kanavoiteja.

3.3.3 Pihasulatus

Yrityksen tuotantotiloissa on tällä hetkellä kolme nosto-ovea, joiden kautta tuotantoon kuljetetaan raaka-aineita, tarvikkeita ja valmiita tuotteita. Kaksi pienempää nosto-ovea ovat kooltaan 4 000 mm x 4 200 mm ja suurempi 5 000 mm x 5 300 mm. Nosto-ovien lisäksi tuotantotilaan on perinteisiä henkilökulkuun tarkoitettuja ovia yhteensä 7. Käytyjen keskusteluiden perusteella ulko-ovien edustat ovat usein jäässä talviaikaan. Yrityksen sisäänkäyntien edessä ei tällä hetkellä ole piha sulatusta, vaan sisäänkäyntien edustat hiekoitetaan tai suolataan talviaikaan. Rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta talteenotettavaa lämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää siirtämällä lämpöenergiaa siirtimen avulla tuotantotilojen sisäänkäyntien eteen asennettavaan sulassapitojärjestelmään.

3.3.4 Varastohallin ylläpitolämmitys

Yrityksellä on valmiiden tuotteiden sekä raaka-aineiden ja tarvikkeiden säilytystä varten erillinen Best-hall Oy:n valmistama 307 m² varastohalli (kuva 8). Varastohallissa ei ole tällä hetkellä minkäänlaista lämmitysjärjestelmää, joten kylminä aikoina varastohallin sisälämpötila laskee pakkasen puolelle. Varastohallissa säilytettävät tuotteet ja raaka-aineet eivät vaadi säilyäkseen tiettyä minimi lämpötilaa, joten varastoahallin lämpötilaa ei ole tarvetta saada yli 10 °C lämpöiseksi. Rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta talteenotettavaa lämpöenergiaa voitaisiin ohjata ns. kanaalissa varastorakennukseen asennettaviin kiertoilmalämmittäjiin. Meno- ja paluuputkien vieminen kanaalissa varastohalliin ei vaatisi laajoja asfaltin avaamistöitä. Tällaiselle investoinnille ei voida laskea takaisinmaksu aikaa, koska lämmitysjärjestelmä toimisi niin sanottuna ylläpitolämmitysjärjestelmänä, jonka tarkoitus olisi estää varastohallin sisälämpötilan laskeminen pakkasen puolelle kylminäkin talviaikoina.



Kuva 8. Yrityksen varastohalli sisäpuolelta.

3.3.5 Työprosessit

Tuotannossa valmistetaan tuotteita erilaisten työprosessien avulla. Yrityksessä tapahtuvia työprosesseja ovat mm. hitsaus, sahaus/leikkaus, rotaatiovalu, pakkaaminen ja koonpano. Edellä mainituista työprosesseista rotaatiovaluprosessissa muodostuvaa hukkalämpöä olisi mahdollisuus hyödyntää esilämmittämällä rotaatiovalukoneen palotilassa olevan nestekaasupolttimen imuilmaa. Esilämmittämällä polttimen imuilmaa on

mahdollista saavuttaa säästöä nestekaasun kulutuksessa. Tämän tyyppinen järjestelmä vaatisi nykyisen nestekaasupolttimen vaihdon korkeita lämpötiloja kestäväan nestekaasupolttimeen.

3.3.6 Käyttövesi

Kohteessa käytyjen keskusteluiden perusteella todettiin, että yrityksen lämpimän käyttöveden kulutus on hyvin pientä. Yrityksen sosiaaliilojen yhteydessä on erillinen WC sekä suihkutila. Haastatteluissa kävi ilmi, että työntekijät eivät käytä sosiaaliiloissa olevia suihkuja. Toimistotilojen yhteydessä on muutama erillis WC. Vaikka tuotantolaitoksen käyttöveden kulutus on suhteellisen pientä voitaisiin rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta poistoilmasta talteenotettavalla lämpöenergialla lämmittää tuotantolaitoksen lämmintä käyttövettä erillisen siirtimen avulla. Tällöin kaukolämpölaitokselta ostettava lämpöenergia vähentyisi tai mahdollisesti kaukolämpölaitokselta ostettavaa lämpöenergiaa ei enään tarvitsisi ollenkaan, koska lämpimän veden käyttö yrityksessä on hyvin pientä.

3.4 Hukkalämmön hyödyntämiskohteen valinta

Rotaatiovaluprosessista muodostuvan ylijäämälämmön hyödyntämiskohteen valinta suoritettiin esittämällä työn toimeksiantajalle kartoituksen yhteydessä havaitut mahdolliset hyödyntämiskohteet. Hyödyntämiskohdetta valittaessa yritys halusi huomioida esimerkiksi investoinnin suuruutta, investoinnin takaisinmaksuaikaa, omavaraisuutta, järjestelmän toimintavarmuutta sekä järjestelmän ympäristöystävällisyyttä. Kaikki edellä mainitut näkökulmat huomioiden yhteistyössä yrityksen henkilökunnan kanssa päädyttiin ratkaisuun, jossa selvitetään mahdollisuutta hyödyntää rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta talteenotettavan lämpöenergian hyödyntämistä tuotantolaitoksen lämmityksessä. Tavoitteena on minimoida yrityksen tarve ostaa kaukolämpölaitokselta lämpöenergiaa. Tavoitteena ei kuitenkaan ole kaukolämpökeskukseen purkamisen tarpeettomana, koska kaukolämpö toimii edelleen lämmöntuoton ns. varajärjestelmänä esimerkiksi mahdollisia rotaatiovalukoneen rikkoja varten, jolloin lämmöntalteenotto ei toimi.

4 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Lämmöntalteenottojärjestelmällä on tarkoitus luoda nykyisen kaukolämpökeskuksen rinnalle niin sanottu vaihtoehtoinen lämmönlähde. Ensimmäiseksi on selvítettävä, paljonko yritys on ostanut lämpöenergiaa paikalliselta kaukolämmönjakelijalta aikaisempina vuosina. Taulukkoon 4 on kirjattu yrityksen paikalliselta kaukolämmönjakelijalta ostamat energiamäärät viimeisen 6 vuoden ajalta. Taulukkoon merkityt luvut on saatu toimeksiantajalta saadun kaukolämmön kulunseurantataulukosta.

Taulukko 4. Yrityksen kaukolämpöjakelijalta ostamat energiamäärät vuosina 2015-2020.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Keskiarvo
Tammi	39,860	38,640	18,890	24,690	34,347	13,698	28,345
Helmi	19,910	23,170	16,280	34,480	19,382	12,848	21,012
Maalis	20,370	22,620	13,540	31,200	17,833	12,038	19,600
Huhti	15,060	11,600	12,200	13,540	9,743	8,966	11,852
Touko	9,460	5,430	7,150	4,840	7,093	5,120	6,516
Kesä	4,540	0,210	3,620	2,750	1,747	0,722	2,264
Heinä	2,690	0,000	2,740	0,510	1,024	0,902	1,311
Elo	1,620	0,000	2,210	1,650	1,024	1,756	1,378
Syys	5,770	3,270	6,090	3,791	3,342	4,631	4,482
Loka	10,910	12,780	12,390	10,268	6,584	12,018	10,825
Marras	14,190	16,450	11,950	16,826	13,561	8,914	13,649
Joulu	16,000	18,750	21,800	31,662	17,510	12,925	19,775
Yht.	160,380	152,920	128,860	176,207	133,190	94,538	141,009

Taulukon 4 energiamäärät sisältävät lämmitysjärjestelmien vaatimat energiat mutta myös lämpimän käyttöveden lämmityksestä johtuvat energiamäärät. Yrityksen lämpimän käyttöveden käyttö on kuitenkin niin minimaalista, ettei tätä kannata huomioida lämmöntalteenottojärjestelmää mitoittaessa. Lisäksi käyttöveden lämmityksestä johtuvan energiamäärän huomiotta jättäminen nostaa lämmöntalteenottojärjestelmän toimintavarmuutta, koska järjestelmälle mitoitetaan niin sanotusti valmiiksi jo hiukan enemmän

tehoa kuin tuotantolaitoksen lämmitysjärjestelmät vaativat. Myös mahdolliset tuotantolaitoksen nykyisten lämmitysjärjestelmien laajentaminen ei aiheuta lämmöntalteenottojärjestelmälle päivitystarvetta, vaan LTO-järjestelmän mitoitus kestää pienet lämmitysjärjestelmien päivitykset. Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, viimeisen 6 vuoden ostetun energiamäärän keskiarvo on 141 MWh. Yli puolet kaukolämpöenergiasta tarvitaan joulukuun ja maaliskuun välissä, kun taas esimerkiksi heinäkuun aikana kaukolämmönjakelijalta ostettua energiaa on tarvittu vain käytännössä lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

4.1 Lämmöntalteenottojärjestelmän pääkomponentit

Lämmöntalteenottojärjestelmää lähdetään mitoittamaan siten, että kaukolämmönsiirtimien rinnalle halutaan asentaa niin sanottu vaihtoehtoinen lämmönsiirrin. Lämmönsiirtimet mitoitetaan tehoiltaan saman tehoiseksi kuin nykyiset kaukolämpösiirtimet ovat. Yrityksen lämmitysverkosto koostuu kolmesta erillisestä lämmityspiiristä. Kaksi lämmityspiiriä on ilmanvaihdon lämmityspiiriä ja yksi lämmityspiiri on patteriverkoston lämmityspiiri. Lämmöntalteenottojärjestelmällä on siis tarkoitus siirtää rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta lämpöenergia lämmönsiirtoaineeseen. Lämmönsiirtoaineeksi tähän järjestelmään valittiin vesi. Rotaatiovalukoneen lämpimällä poistoilmalla lämmitetty lämmönsiirtoaine ohjataan omiin lämmönsiirtimiin, joiden kautta lämpöenergia loppujen lopuksi siirretään nykyisiin lämmitysverkostoihin. Nykyisiä kaukolämmönsiirtimiä ei ole tarkoitus poistaa käytöstä vaan olemassa oleva kaukolämpökeskus jätetään käyttöön. Yksinkertaisuudessaan kun rotaatiovalukoneen pakokaasukanavasta on lämpöä saatavilla tuotantotilan lämmitysjärjestelmät lämmitetään siitä saadulla lämpöenergialla, mutta kun rotaatiovalukoneeseen tulee laiterikko tai huoltotoimenpide niin tuotantotilan lämmitysjärjestelmät saavat tarvittavan lämpöenergian kaukolämpöjakelijalta.

4.1.1 Lämmönsiirtimet lämmitysverkostoihin

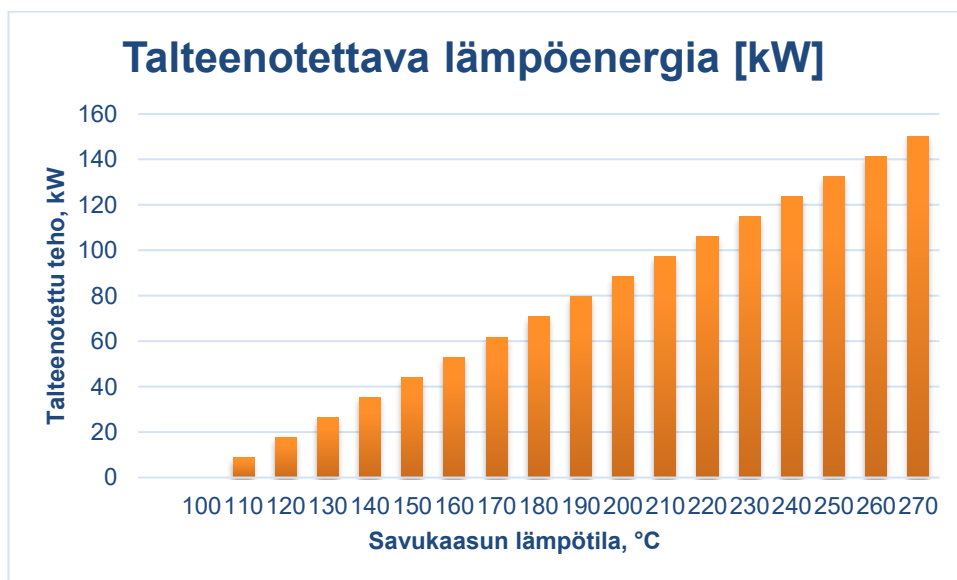
Yrityksen tuotantotilassa on kolme erillistä lämmityspiiriä. Kaksi olemassa olevaa lämmityspiiriä on ilmanvaihdon lämmityspiiriä, joissa lämmönsiirron hoitaa lämmönsiirtimet LS3 ja LS2. Kolmas olemassa oleva lämmityspiiri on patteriverkosto, jonka lämmönsiirtoa hoitaa LS1. Nykyisten lämmönsiirtimien tehot on merkitty liitteenä 1 olevaan järjestelmäkaavioon. Koska uuden järjestelmän tarkoitus ei ole päästä eroon kaukolämmöstä niin uudet lämmönsiirtimet asennetaan jokaiseen lämmitysverkostoon rinnakkaislämmönlähde-kytkennällä. Rinnakkaislämmönlähde-kytkennän tarkoituksena on olla heikentämättä tarpeettomasti kaukolämpöveden jäähtymää tai asiakkaan lämmityksen toimintavarmuutta. Mikäli yrityksen rotaatiovalukone on esimerkiksi huollon tai laiterikon takia pois käytöstä niin lämmitysjärjestelmä saa lämpöenergiansa kaukolämpölaitokselta normaaliin tapaan. Koska kaikkien olemassa olevien lämmityspiirien menoveden lämpötila on 70 °C niin myös uuden lämmönsiirtimen toisio puolen menoveden lämpötilaksi halutaan 70 °C. (Energieollisuus ry. K1 2020, 102.)

Lämmöntalteenottojärjestelmään uusiksi lämmönsiirtimiksi valittiin HögforsGST / SWEP lämmönsiirtimet. Uusien lämmönsiirtimien ensiöpuolen menoveden lämpötilaksi mitoitettiin 87 °C ja paluueden lämpötilaksi 75 °C. Näillä lämpötiloilla saavutetaan haluttu lämmönsiirtoteho. Jokaisen lämmitysverkoston säätö tehdään 3-tiesäätöventtiilin avulla. Uusien lämmönsiirtimien LS1.2, LS2.2 ja LS3.2 mitoitus on liitteessä 2.

4.1.2 Lämmöntalteenottolaite pakokaasukanavaan

Rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta poistoilmasta halutaan siirtää lämpöenergiaa toiseen lämmönsiirtoaineeseen. Tähän prosessiin tarvitaan lämmöntalteenottolaite, jota voidaan myös kutsua LTO-patteriksi. Lämpimästä pakokaasusta siirretään LTO-patterin avulla lämpöenergia lämmönsiirtoaineeseen. Lämmönsiirtoaineena voidaan käyttää esimerkiksi etanolia, propyleeniglykolia, etyleeniglykolia tai vettä. Tähän järjestelmään lämmönsiirtoaineeksi päätettiin valita vesi. Pakokaasukanavassa virtaavan pakokaasun korkean lämpötilan vuoksi järjestelmään valittavalta LTO-patterilta vaaditaan erityisiä ominaisuuksia, kuten kestävyyttä korkeissa lämpötiloissa.

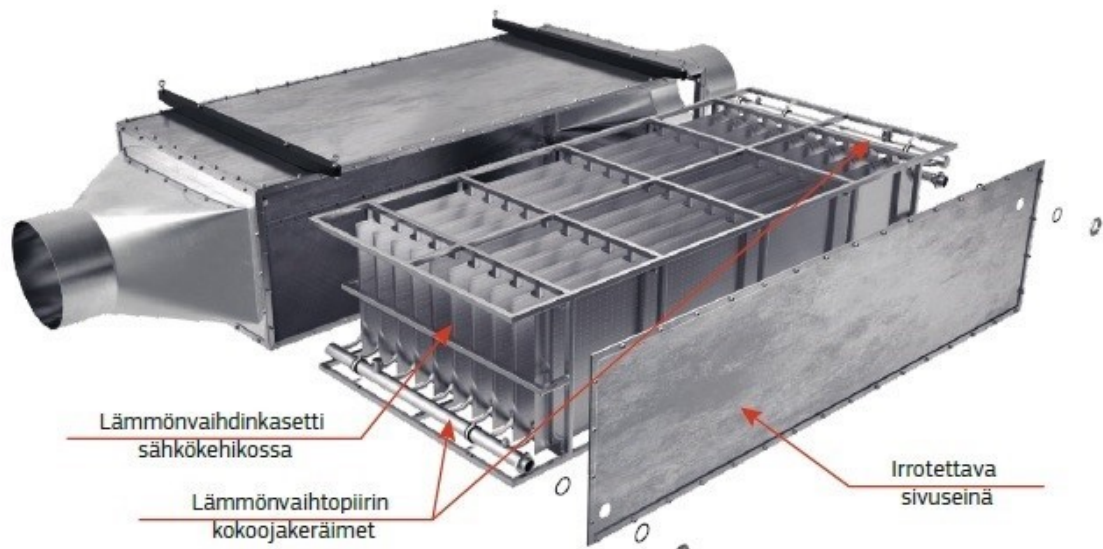
Kun lämmönsiirtoaineena käytetään vettä on otettava huomioon veden kiehumislämpötila. Tämä käytännössä tarkoittaa, ettei lämmönsiirtoainetta voida lämmittää yli 90 asteiseksi, jotta vältetään veden kiehumiselta. Kun lämmöntalteenottolaitteelta lähtevä vesi halutaan lämmittää savukaasun avulla 90 °C, täytyy savukaasun lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen olla suurempi kuin 90 °C. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, ettei savukaasun avulla saada lämmitettyä lämmönsiirtoainetta haluttuun 90 °C silloin kun rotaatiovalukoneen palotilassa ei ole tuotetta lämmityksessä ja pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötila on alle 100 °C. Kaaviosta 1 voidaan todeta, että 8 tunnin aikajakson aikana pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötila on alle 100 °C noin 3 tuntia. Talteenotto teho voidaan laskea kaavalla 1 kun pakokaasun lämpötila ennen lämmönsiirrintä on 150 °C ja lämmönsiirtimen jälkeen 100 °C. Edellä mainituilla lämpötiloilla lämmöntalteenotto tehoksi saadaan noin 44 kW. Kaaviosta 3 nähdään 10 lämpötila-asteen välein talteenotettava teho lämpötilojen 100–270 °C välillä.



Kaavio 3. Savukaasusta talteenotettava lämpöenergian määrä eri savukaasun lämpötiloilla.

Eräs mahdollinen lämmöntalteenottolaittejärjestelmään löytyy Finnstainless Oy:n valikoimasta (kuva 9). Lämmöntalteenottolaitte voidaan asentaa vaaka-asentoon tai pystyasentoon suoraan ilmanvaihtokanavaan, joten suurilta muutostöiltä vältetään. Lämmöntalteenottolaitteen runko on valmistettu ruostumattomasta teräksestä eikä siinä ole joustavia tiivisteitä eikä juotoksia. Tämän takia lämmöntalteenottolaitte on hyvin suojattu esimerkiksi mekaanisilta vaikutuksilta, voimakkailta paineella ja lämpötilan vaihteluilta sekä kosteudelta. Käyttölämpötilaksi valmistaja ilmoittaa -25°C - +300 °C, joten

lämmöntalteenotto laite soveltuu kohteeseen myös lämpötilojen keston suhteen. Lämmöntalteenotto tehoksi laitteella luvataan 100 kW. Koska lämmöntalteenottojärjestelmään halutaan toimintavarmuutta niin lämmöntalteenottolaitteita järjestelmään valitaan 2 kappaletta eli yhteenlaskettu lämmöntalteenottoteho on 200 kW. Liitteenä 1 oleva järjestelmäkaaviossa lämmöntalteenottolaitteet on nimetty LTO1 ja LTO2. Lämmöntalteenottolaitteet asennetaan omiin ilmanvaihtokanaviin, joiden kautta jäähtynyt savukaasu puhalletaan ulospuhallushajottimien kautta ulos. Kanavaan asennetaan myös ilman-suodattimet ennen lämmöntalteenottolaitteita. Suodattimien on kestävä savukaasun korkeat lämpötilat. Suodattimien avulla saadaan pidennettyä lämmöntalteenottolaitteen käyttöikää sekä pidennettyä lämmöntalteenottolaitteen huoltovälejä. (Finnstainless Oy 2021.)



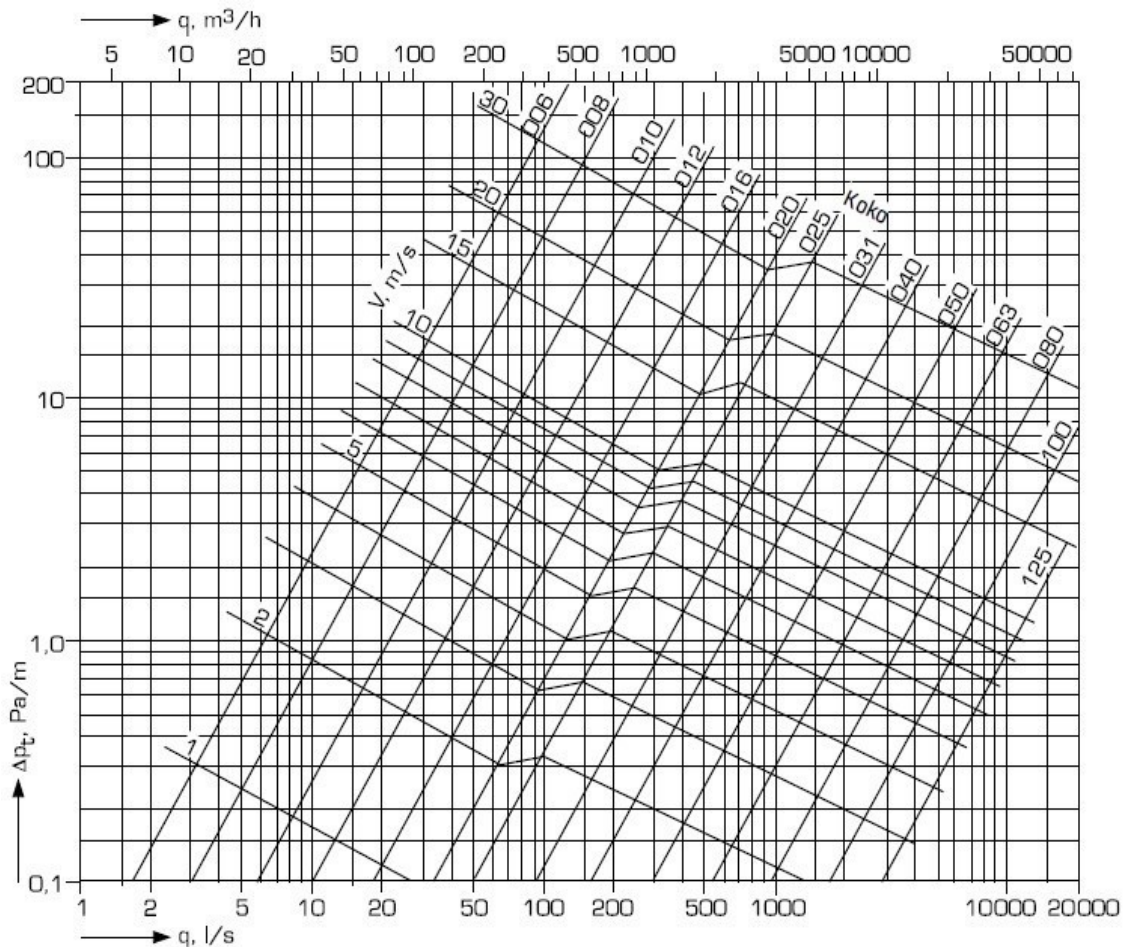
Kuva 9. Lämmöntalteenottolaitteen rakenne. (Finnstainless Oy 2021).

4.1.3 Ulospuhalluslaite savukaasukanavaan

Rotaatiovalukoneen savukaasukanavat johdetaan lämmöntalteenottolaitteiden jälkeen tuotantotilan katolle. Savukaasukanavien päähän asennetaan EYMA-2 ulospuhallushajoittimet. Ulospuhallushajoittimen tehtävänä on johtaa jäteilma ylös suurella nopeudella. Näin rotaatiovalukoneen pakokaasukanavan hajut ja epäpuhtaudet eivät laskeudu ulospuhalluskohdan läheisyyteen eikä lämmin ilma sulata talvella lunta ulospuhallushajoittimen ympäröivälle katolle. Kiinteistön katolle tulee yhteensä 3 ulospuhallushajoitinta. Lämmöntalteenottokanavien päähän tulee halkaisijaltaan 500 mm ulospuhallushajoittimet ja niin sanotun ohituskanavan päähän halkaisijaltaan 630 mm ulospuhallushajoitin. (Fläktgoup Oy 2021a.)

4.1.4 Putkisto ja kanavistot

Rotaatiovalukoneen palotilasta lähtevä pakokaasukanava on tällä hetkellä halkaisijaltaan 315 mm. Kun lämmöntalteenottojärjestelmään asennetaan kaksi LTO-laitetta omiin kanaviin tulee myös nykyinen pakokaasukanava uusiksi. Uusien ilmanvaihtokanavien koot valitaan kuvassa 10 olevan Fläktgroup Oy:n pyöreän ilmanvaihtokanavan painehäviökäyrästä avulla. Kanavasta muodostuva painehäviö halutaan pitää maksimissaan 1 Pa/m. Kuten käyrästä voidaan havaita niin nykyinen 315 mm pakokaasukanava on suhteellisen pieni pakokaasukanavassa virtaavalle ilmamäärälle. Lämmöntalteenottojärjestelmään tulee yhden pakokaasukanavan sijasta 3 pakokaasukanavaa. Tilanteessa, jossa olemassa olevat lämmityspiirit eivät tarvitse lämpöenergiaa koko 1860 litraa savukaasuja virtaa niin sanottua ohituskanavaa pitkin ulos. Savukaasuja ei ajeta lämmöntalteenottolaitteiden läpi lämmityskauden ulkopuolella, koska LTO-laitteessa kiertävän veden lämpötila voisi nousta yli kiehumispisteen. 1860 l/s virtaamalle sopiva kanava koko on 630 mm. pakokaasukanavat, joihin sijoitetaan lämmöntalteenottolaitteisto ovat kooltaan pienempiä, koska lämmöntalteenottotilanteessa ohituskanavan säätöpelti sulkeutuu ja lämmöntalteenottokanavien säätöpellit aukeavat. Tällöin savukaasua virtaa yhdessä kanavassa 930 l/s. Pakokaasukanavan kooksi, joihin lämmöntalteenottolaitteisto asennetaan valitaan 500 mm.



Kuva 10. Pyöreän ilmanvaihtokanavan painehäviökäyrästä. (FläktGroup Oy 2021b).

Pakokaasukanavassa virtaavan pakokaasun korkean lämpötilan vuoksi ilmanvaihtokanavana on käytettävä korkeita lämpötiloja kestäväää ilmanvaihtokanavaa. Kohteeseen sopii esimerkiksi FläktGroupin ESAD savunhallintakanava. FläktGroupin ESAD savunhallintakanavat täyttävät paloluokan E 120 S. Ilmanvaihtokanavan kannakoinnissa on myös käytettävä kannakkeita, jotka saavuttavat polttokokeella testatut suoritusarvot. (FläktGroup Oy 2021c.)

Samoin kuin pakokaasukanaviston niin lämmöntalteenottojärjestelmän putkilinjojen putkikoot mitoitetaan kuvassa 11 olevan mitoitustaulukon avulla. Putkimateriaaliksi valitaan lämmitysjärjestelmiin hyvin soveltuva teräsputki. Lämmöntalteenottojärjestelmän putkikoot valitaan niin, ettei putkesta aiheutuva painehäviö ylitä 50 Pa/m. Putkilinjojen putkikoot on merkitty liitteenä 1 olevaan järjestelmäkaavioon.

LVI-suunnitteluhje
Lämpöjohtojen mitoitusaulukko
Δt = 20 °C

EKONO
1980-08-07

NS (d _s /mm) R/Pa7m	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	R/mmvp/°C
22,6	1,14 0,01 0,11	2,21 0,03 0,13	5,03 0,06 0,17	9,38 0,11 0,20	19,8 0,24 0,27	29,9 0,37 0,27	56,5 0,69 0,31	120 1,47 0,38	184 2,25 0,42	369 4,50 0,50	640 7,81 0,57	1060 12,9 0,65	2100 25,8 0,77	3870 47,2 0,88	6070 94,7 0,99	7760 104 1,04	2,3
25,5	1,20 0,01 0,12	2,37 0,03 0,14	5,37 0,07 0,18	10,0 0,12 0,21	21,3 0,26 0,26	32,0 0,39 0,28	60,6 0,74 0,38	129 1,57 0,48	197 2,40 0,50	394 4,81 0,43	681 8,31 0,53	1130 13,8 0,61	2040 24,3 0,69	3690 50,3 0,82	6490 99,2 0,94	8280 101 1,05	2,6
29,5	1,31 0,02 0,13	2,57 0,03 0,16	5,83 0,07 0,22	10,9 0,13 0,26	23,0 0,28 0,32	34,6 0,42 0,35	65,4 0,80 0,42	119 1,20 0,44	213 2,6 0,49	425 5,19 0,58	735 8,97 0,66	1210 14,8 0,74	2330 29,7 0,88	4290 54,2 1,02	8200 85,2 1,13	12000 109 1,20	3,0
33,4	1,40 0,02 0,15	2,75 0,04 0,18	6,24 0,09 0,22	11,7 0,14 0,26	24,6 0,30 0,33	37,0 0,45 0,33	69,9 0,85 0,42	148 1,81 0,57	228 2,78 0,62	456 5,56 0,70	785 9,58 0,79	1290 15,8 0,94	2600 31,7 1,08	4740 57,8 1,24	8700 91,1 1,38	11000 116 1,48	3,4
8,3	1,52 0,02 0,15	2,98 0,04 0,18	6,74 0,08 0,22	12,6 0,15 0,26	26,5 0,32 0,32	39,9 0,49 0,35	75,3 0,92 0,42	160 1,95 0,50	243 2,97 0,56	489 5,97 0,66	844 10,3 0,76	1390 17,0 0,85	2800 34,2 1,01	5070 61,9 1,16	8020 97,8 1,30	10200 124 1,37	3,9
43,2	1,62 0,02 0,16	3,19 0,04 0,19	7,19 0,09 0,24	13,4 0,16 0,28	28,3 0,34 0,38	42,6 0,48 0,38	80,3 1,21 0,44	170 2,41 0,54	261 3,19 0,60	521 6,36 0,71	902 11,0 0,81	1480 16,1 0,91	2980 36,4 1,08	5420 66,1 1,24	8520 104 1,38	10900 133 1,46	4,4
50,0	1,76 0,02 0,18	3,46 0,04 0,20	7,81 0,10 0,26	14,5 0,18 0,31	30,7 0,37 0,41	46,1 0,56 0,41	87,0 1,06 0,58	184 2,25 0,64	282 3,44 0,76	562 6,86 0,87	975 11,9 0,98	1610 19,6 1,16	3210 39,2 1,34	5850 71,4 1,49	9180 112 1,58	11700 143 1,68	5,1
57,0	1,90 0,02 0,19	3,71 0,05 0,23	8,38 0,10 0,28	15,6 0,19 0,33	32,9 0,40 0,40	49,4 0,60 0,44	93,2 1,14 0,52	198 2,41 0,62	302 3,19 0,69	603 7,36 0,82	1040 12,7 0,93	1710 20,9 1,05	3430 41,9 1,24	6240 76,1 1,43	9830 120 1,59	12500 153 1,69	5,8
64,8	2,04 0,02 0,20	3,98 0,05 0,24	8,99 0,11 0,30	16,8 0,20 0,35	35,3 0,43 0,43	53,0 0,65 0,47	99,8 1,22 0,55	211 2,58 0,67	333 3,94 0,78	644 7,86 0,87	1110 13,6 1,00	1840 22,4 1,12	3660 44,7 1,33	6670 81,4 1,53	10500 128 1,70	13400 163 1,80	6,6
74,6	2,20 0,03 0,22	4,33 0,05 0,26	9,72 0,12 0,32	18,1 0,22 0,38	38,0 0,46 0,46	57,1 0,70 0,51	108 1,31 0,60	228 2,78 0,72	348 4,25 0,80	694 8,47 0,94	1200 14,6 1,07	1980 24,1 1,21	3960 48,3 1,43	7170 87,5 1,65	11300 138 1,83	14400 188 1,94	7,6
85,4	2,37 0,03 0,24	4,64 0,06 0,35	10,5 0,13 0,41	19,4 0,24 0,41	40,9 0,50 0,49	61,4 0,75 0,55	116 1,41 0,64	246 3,00 0,77	374 4,56 0,85	744 9,08 1,01	1290 15,7 1,15	2120 25,9 1,30	4240 51,7 1,53	7700 93,9 1,76	12100 148 1,96	15400 188 2,08	8,7
98,2	2,57 0,03 0,26	5,01 0,06 0,30	11,3 0,14 0,38	21,0 0,26 0,44	44,1 0,54 0,59	66,2 0,83 0,59	124 1,52 0,69	264 3,22 0,82	403 4,92 0,92	802 9,78 1,09	1310 16,9 1,24	2280 27,8 1,40	4560 55,6 1,65	8280 101 1,90	13000 159 2,11	16600 202 2,23	10
115	2,78 0,03 0,28	5,42 0,07 0,33	12,2 0,15 0,41	22,6 0,28 0,47	47,5 0,58 0,57	71,3 0,87 0,63	134 1,64 0,74	284 3,47 0,83	433 5,28 0,99	861 10,5 1,17	1480 18,1 1,33	2460 30,0 1,50	4890 59,7 1,77	8850 108 2,04	14000 171 2,27	17800 217 2,40	11,5
128	2,96 0,04 0,30	5,78 0,07 0,35	13,0 0,16 0,43	24,2 0,29 0,51	50,7 0,62 0,61	76,1 0,93 0,68	143 1,74 0,79	302 3,69 0,95	462 5,64 1,05	920 11,2 1,24	1580 19,3 1,42	2610 31,9 1,60	5210 63,8 1,88	9510 116 2,17	14900 182 2,41	18900 231 2,55	13
147	3,20 0,04 0,32	6,26 0,08 0,38	14,0 0,17 0,47	26,1 0,32 0,55	54,7 0,67 0,73	80,0 1,00 0,73	154 1,88 0,85	325 3,97 1,02	497 6,06 1,14	992 12,1 1,34	1700 20,8 1,53	2820 34,4 1,72	5600 68,3 2,03	10200 124 2,33	16100 196 2,60	20400 249 2,75	15
167	3,44 0,04 0,32	6,69 0,08 0,41	15,0 0,18 0,50	27,9 0,34 0,59	58,5 0,71 0,70	87,6 1,07 0,73	164 2,00 0,91	348 4,25 1,09	530 6,47 1,30	1060 12,9 1,45	1820 22,2 1,63	3010 36,7 1,84	5990 73,1 2,16	10900 133 2,49	17000 208 2,77	21700 265 2,93	17
196	3,76 0,03 0,37	7,31 0,09 0,44	16,4 0,20 0,55	30,4 0,37 0,64	63,7 0,78 0,79	95,5 1,17 0,85	179 2,19 0,95	378 4,56 1,19	579 7,09 1,32	1150 14,0 1,56	2040 24,0 1,77	3250 39,7 2,06	6490 79,2 2,35	11800 144 2,70	18500 226 3,01	23600 288 3,28	20
226	4,05 0,05 0,40	7,90 0,10 0,48	17,7 0,22 0,59	32,7 0,40 0,69	68,6 0,84 0,83	103 1,25 0,91	193 2,35 1,07	407 4,97 1,28	621 7,58 1,67	1240 15,1 1,81	2120 25,9 2,14	3510 42,8 2,52	6990 85,3 3,02	12700 155 3,32	19900 243 3,60	25300 309 3,84	23
255	4,33 0,05 0,43	8,42 0,10 0,51	18,9 0,23 0,63	34,9 0,43 0,73	78,1 0,89 0,88	110 1,34 0,95	206 2,54 1,14	435 5,31 1,36	662 8,08 1,78	1320 16,1 2,03	2260 27,6 2,33	3740 45,6 2,81	7430 90,6 3,30	13500 165 3,99	20000 253 4,44	26700 323 4,72	26
295	4,69 0,06 0,47	9,11 0,11 0,50	20,4 0,25 0,68	37,7 0,46 0,79	78,9 0,96 0,95	118 1,44 1,05	221 2,70 1,23	488 5,96 1,63	712 8,69 1,92	1420 17,3 2,18	2430 29,7 2,46	4010 48,9 2,89	7990 97,5 3,52	14500 177 4,28	22800 278 5,00	29000 354 5,31	30
334	5,01 0,06 0,50	9,72 0,12 0,59	21,7 0,27 0,72	40,2 0,49 0,85	84,2 0,91 1,02	126 1,27 1,12	237 2,89 1,31	498 6,08 1,57	761 9,28 2,05	1510 18,8 2,33	2600 31,7 2,66	4280 52,0 3,08	8520 104 3,80	15500 189 4,54	24300 297 4,34	30900 377 4,94	34
380	5,40 0,07 0,54	10,5 0,13 0,64	23,4 0,29 0,78	43,3 0,53 0,83	90,5 1,10 1,09	135 1,65 1,20	255 3,11 1,40	535 6,53 1,86	815 9,94 2,19	1620 19,8 2,50	2770 33,8 2,81	4600 56,1 3,30	9100 111 4,00	16600 202 4,72	26100 318 5,12	33100 404 5,47	39
432	5,76 0,07 0,62	11,2 0,14 0,68	24,9 0,30 0,83	46,1 0,56 0,97	96,4 1,18 1,16	144 1,76 1,28	270 3,30 1,49	568 6,94 1,79	869 10,6 2,33	1720 21,0 2,66	2960 36,1 2,99	4870 59,4 3,51	9750 119 4,04	17600 215 5,00	27700 338 5,49	35299 430 5,75	44
500	6,22 0,08 0,62	12,1 0,15 0,73	27,0 0,33 0,90	49,8 0,61 1,05	104 1,27 1,25	156 1,90 1,38	292 3,56 1,61	594 7,50 1,93	934 11,4 2,14	1860 22,7 2,52	3190 38,9 2,86	5260 66,2 3,22	10500 128 3,79	19000 232 4,35	29800 364 5,00	37900 461 5,12	51
570	6,67 0,08 0,78	12,9 0,15 0,85	28,0 0,35 1,05	53,2 0,65 1,12	111 1,36 1,34	166 2,03 1,48	312 3,81 1,72	656 8,00 2,06	1000 12,2 2,28	1980 24,2 2,69	3420 41,7 3,06	5620 68,6 3,64	11100 136 4,04	20300 248 4,65	31900 389 5,16	40500 496 5,46	58

Kuva 11. Lämpöjohtojen mitoitusaulukko. (EKONO).

Uusien pakokaasukanavistojen ja putkilinjojen suunnittelussa on huomioitava myös eristys. Hyvällä eristyksellä minimoidaan kanavan seinämän kautta karkaavan lämpöenergian määrä. Pakokaasukanavan eristeeksi voidaan valita esimerkiksi Isover Saint-Gobain Finland Oy:n TECH Pipe Section Mat 3.0. Eristematto soveltuu hyvin lämpö- ja äänieristykseen teollisuudessa, koska se kestää jopa 620 °C lämpötilaa. Eristematon sulamispiste on yli 1000 °C. Lämmöntalteenottojärjestelmässä olevien vesijohtojen eristykseen voidaan käyttää esimerkiksi alumiinilaminaattipintaista ULTIMATE mineraalivillakourua. (Isover Saint-Gobain 2021).

4.1.5 Varaaja

Koska rotaatiovalukoneen palotilassa ei jatkuvasti ole tuotetta valmistuksessa niin pakokaasukanavasta talteenotettava lämpöenergian määrä vaihtelee. Kohteessa suoritettun pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan mittauksen aikana savukaasun lämpötila oli alle 100 °C pisimmillään 30 minuutin ajan. Koska järjestelmältä halutaan toimintavarmuutta niin järjestelmään sijoitetaan puskurivaraaja, jonka avulla lämmitysverkostoihin sijoitettaville lämmönsiirtimille LS1.1, LS2.1 ja LS3.1 saadaan tasaisesti halutun lämpöistä nestettä. Varaajan tehtävä järjestelmässä on tasata ja varata lämpöenergiaa lämmöntalteenottolaitteilta tulevasta lämpimästä vedestä. Puskurivaraajan koko määräytyy sen mukaan kuinka paljon lämpöenergiaa halutaan varastoida varaajaan rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan olessa niin alhainen ettei siitä saada talteenotettua tarpeeksi paljon lämpöenergiaa talteen.

4.1.6 Paisunta-automaatti

Lämmitysjärjestelmissä veden lämpötila muuttuu tarpeen mukaan. Lämmityskaudella veden lämpötila on korkeimmillaan kun taas kesäaikaan veden lämpötilaa voidaan laskea matalammaksi, jolloin kiiteistössä ei ole lämmitystehontarvetta. Veden lämmitessä sen tiheys ja näin ollen myös tilavuus kasvaa. Veden tilavuuden muutoksen myötä lämmitysjärjestelmät on varustettava erilaisin varolaittein, jolla suojellaan niin käyttäjiä kuin omaisuuttakin. Paisuntalaitteet ovat hyväksi todettuja varolaitteita, joilla otetaan veden tilavuuden muutos vastaan. (Seppänen 2001, 200.)

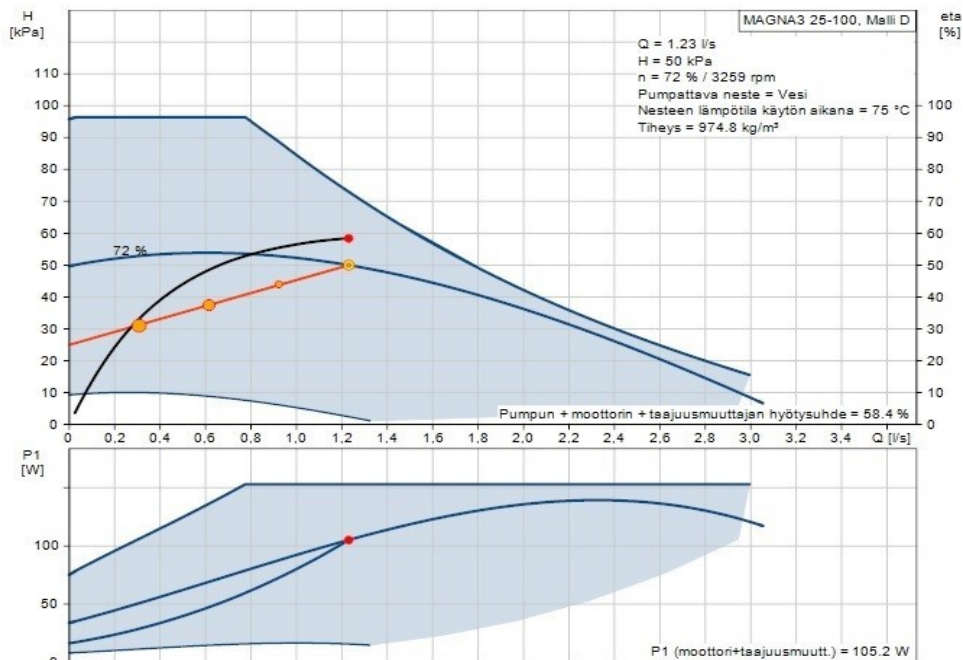
Lämmöntalteenottojärjestelmään valittiin Servitec 60 paisunta-automaatti (kuva 12). Servitec 60 paisunta-automaatti mittaa ja säätää nesteen virtausta portaattomasti ja optimoi ilmanpoistotehoa verkoston paineesta ja viskositeetistä riippumatta. Kaasupoistotehoa parannetaan pisaroimalla neste ennen siirtymistä tyhjiötilaan. Servitec 60 järjestelmään kuuluu automaattitäyttö vakiona. Servitec 60 paisunta-automaattiin liitetään Fillset täyttöyhdistelmä, joka antaa analogiviestin täyttömäärästä servitec ohjauskeskukseen. Servitec 60 paisunta-automaatin maksimi verkosto koko on 200 m³, jonka ansiosta paisuntaastia on kykenevä toimimaan halutulla tavalla vaikka suunniteltua lämmöntalteenottojärjestelmää laajennettaisiin tulevaisuudessa. (Termovent Oy Ab 2021.)



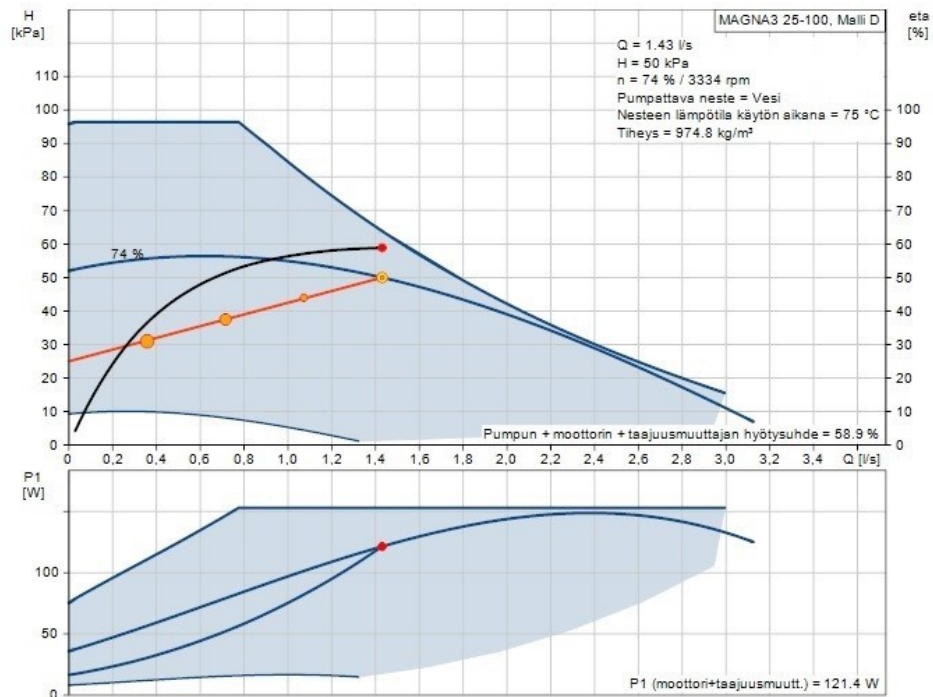
Kuva 12. Servitec 60 paisunta-automaatti. (Termovent Oy Ab 2021)

4.1.7 Kiertovesipumput

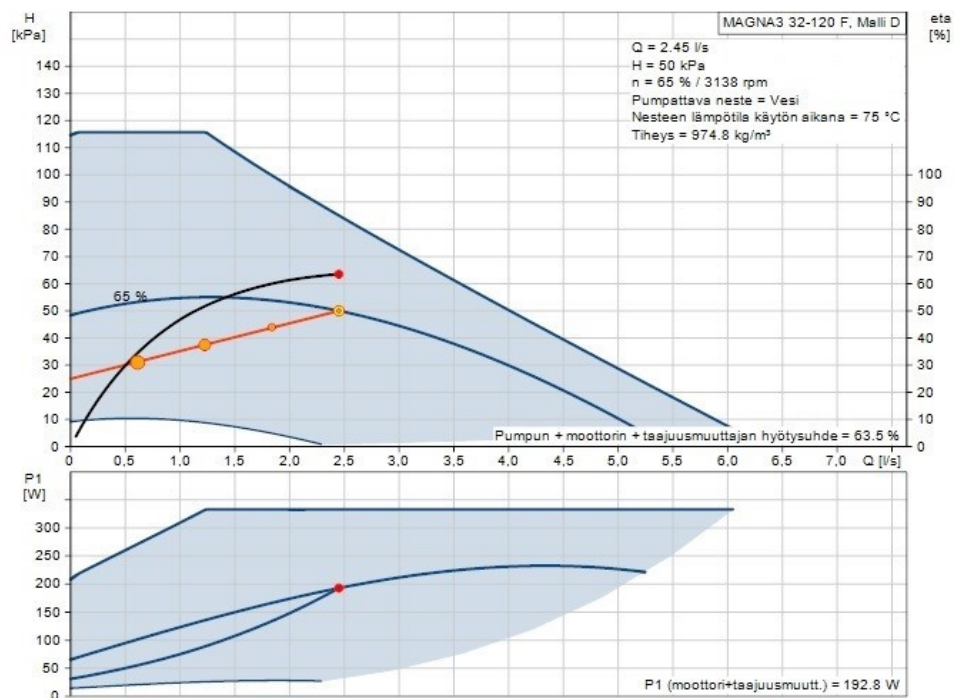
Lämmöntalteenottojärjestelmään sijoitetaan neljä uutta kiertovesipumppua. Jokaisen uuden rinnakkainkytketyn lämmönsiirtimen ensiöpuolelle valitaan uusi kiertovesipumppu. Valittaessa kiertovesipumppua tarvitaan tieto pumpun nostokorkeudesta sekä virtaamasta. Liitteenä 2 olevassa lämmönsiirtimien mitoituksessa näkee lämmönsiirtimien ensiöpuolen virtaamat sekä pumpulta vaaditun nostokorkeuden. Pumpun nostokorkeus määräytyy putkireitin kokonaispainehäviöistä, joka muodostuu putken aiheuttamasta kitkapainehäviöstä, putkilinjassa olevien komponenttien kuten kertasäätöventtiilien aiheuttamasta painehäviöistä sekä lämmönsiirtimestä aiheutuvasta painehäviöstä. Järjestelmään valittiin Grundfos:n kiertovesipumppu-valikoimasta lämmöntalteenottojärjestelmään sopivat pumput. Uudet kiertovesipumput on numeroitu liitteenä 1 olevaan järjestelmäkaavioon PU-1, PU-2, PU-3 ja PU-4. PU-1, PU-2 ja PU-3 kiertovesipumput hoitavat lämmitysveden kierron varaajalta uusille lämmönsiirtimille kun taas PU-4 hoitaa lämpimän veden kierron LTO-laitteilta varaajalle. Uusien kiertovesipumppujen mitoitus ja valinta tehtiin Grundfosin mitoitusohjelmalla. Uusien kiertovesipumppujen säätökäyrät ja toimintapisteet näkyvät kuvissa 13-16.



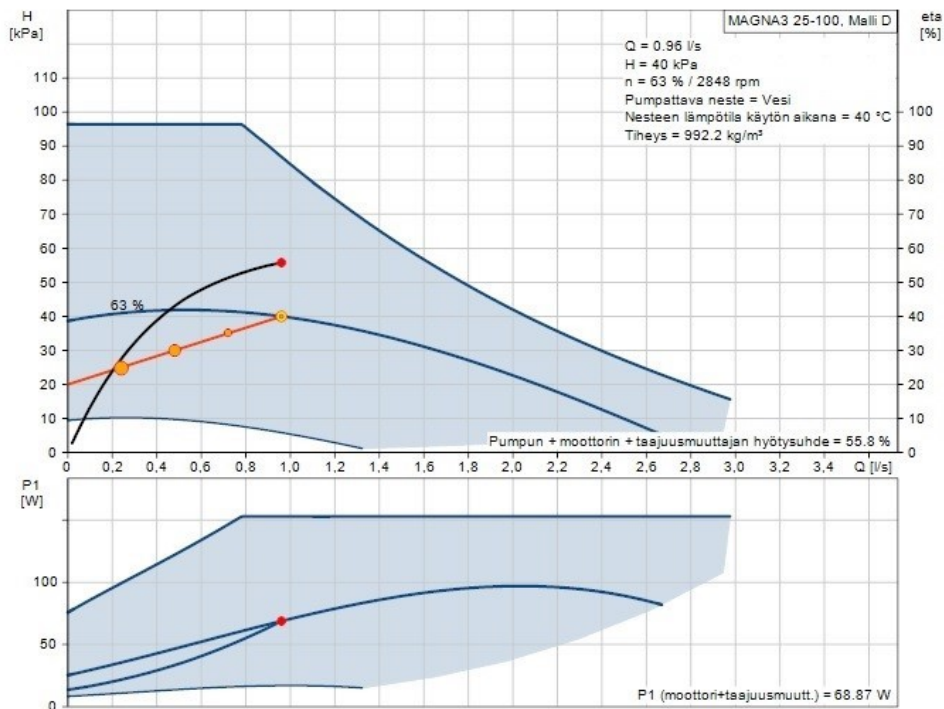
Kuva 13. PU-1 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste. (Oy Grundfos Pumput Ab 2021).



Kuva 14. PU-2 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste. (Oy Grundfos Pumput Ab 2021).



Kuva 15. PU-3 kiertovesipumpun säätökäyrä ja toimintapiste. (Oy Grundfos Pumput Ab 2021).



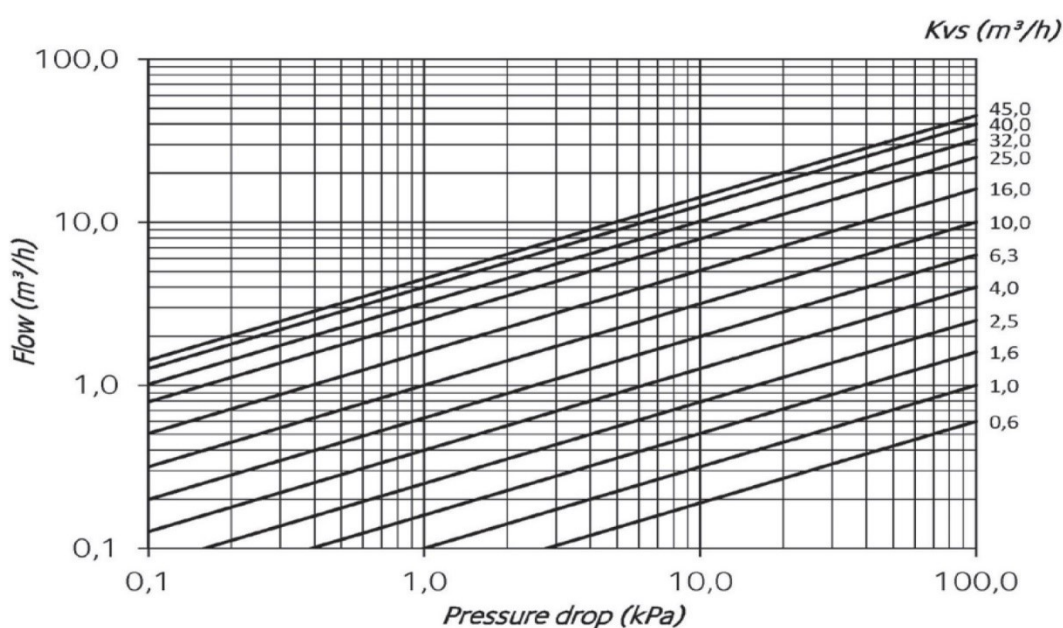
Kuva 16. PU-4 kiertovesipumpun säätöikäyrä ja toimintapiste. (Oy Grundfos Pumput Ab 2021).

4.1.8 Säätölaitteet

Säätölaitteiden avulla kasvatetaan lämmöntalteenottojärjestelmän toimintavarmuutta ja käyttömukavuutta. Säätölaitteet yhdistetään tuotantolaitoksessa olemassa olevaan taloautomaatiojärjestelmään. Taloautomaation avulla säätölaitteille voidaan asettaa tietyt raja-arvot minkä mukaan taloautomaatiojärjestelmä ohjaa säätölaitteita. Uudet lämmönsiirtimet liitetään olemassa oleviin lämmityspiireihin rinnankytkennällä niin, ettei olemassa olevan lämmitysjärjestelmän toiminta heikkene. Uudet lämmönsiirtimet kytketään olemassa olevaan lämmitysverkostoon 3-tie sekoitusventtiilin avulla. 3-tie sekoitusventtiilissä on toimilaite, joka toimii taloautomaatiojärjestelmän käskyjen perusteella. 3-tie sekoitusventtiili saa käskyn automaatiojärjestelmästä perustuen järjestelmässä olevien lämpötila-antureiden lämpötila-arvoihin. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kun järjestelmässä olevat lämpötila-anturit havaitsevat pakokaasukanavassa virtaavan tarpeeksi lämmintä savukaasua niin anturit lähettävät automaation avulla viestin 3-tie

sekoitusventtiilille ja venttiili asettuu sellaiseen asentoon, että olemassa oleva kaukolämmönsiirtimen ei tarvitse lämmittää lämmitysverkostossa virtaavaa vettä vaan lämpöenergia saadaan pakokaasukanavasta talteenotetusta lämmöstä. Kun taas lämpötila-anturit havaitsevat, ettei lämmönlähteestä ole saatavilla tarpeeksi lämpöenergiaa lämmittääkseen lämmitysverkostoa, päästää 3-tie sekoitusventtiili tarvittavan määrän lämmintä vettä olemassa olevalta kaukolämmönsiirtimeltä niin, että lämmitysverkosto pysyy kokoajan halutun lämpöisenä. 3-tie sekoitusventtiileitä on usealla eri valmistajalla. Lämmöntalteenottojärjestelmään valittiin LK Armatur AB:n Termomix 2.0 sekoitusventtiilit. Sekoitusventtiilien painehäviöt ja Kvs-arvot saadaan kuvan 17 sekoitusventtiilin säätökäyrästä. Järjestelmän sekoitusventtiilien tarkemmat mitoitusarvot näkyvät liitteenä 2 olevassa lämmönsiirtimien mitoitusaulukossa.

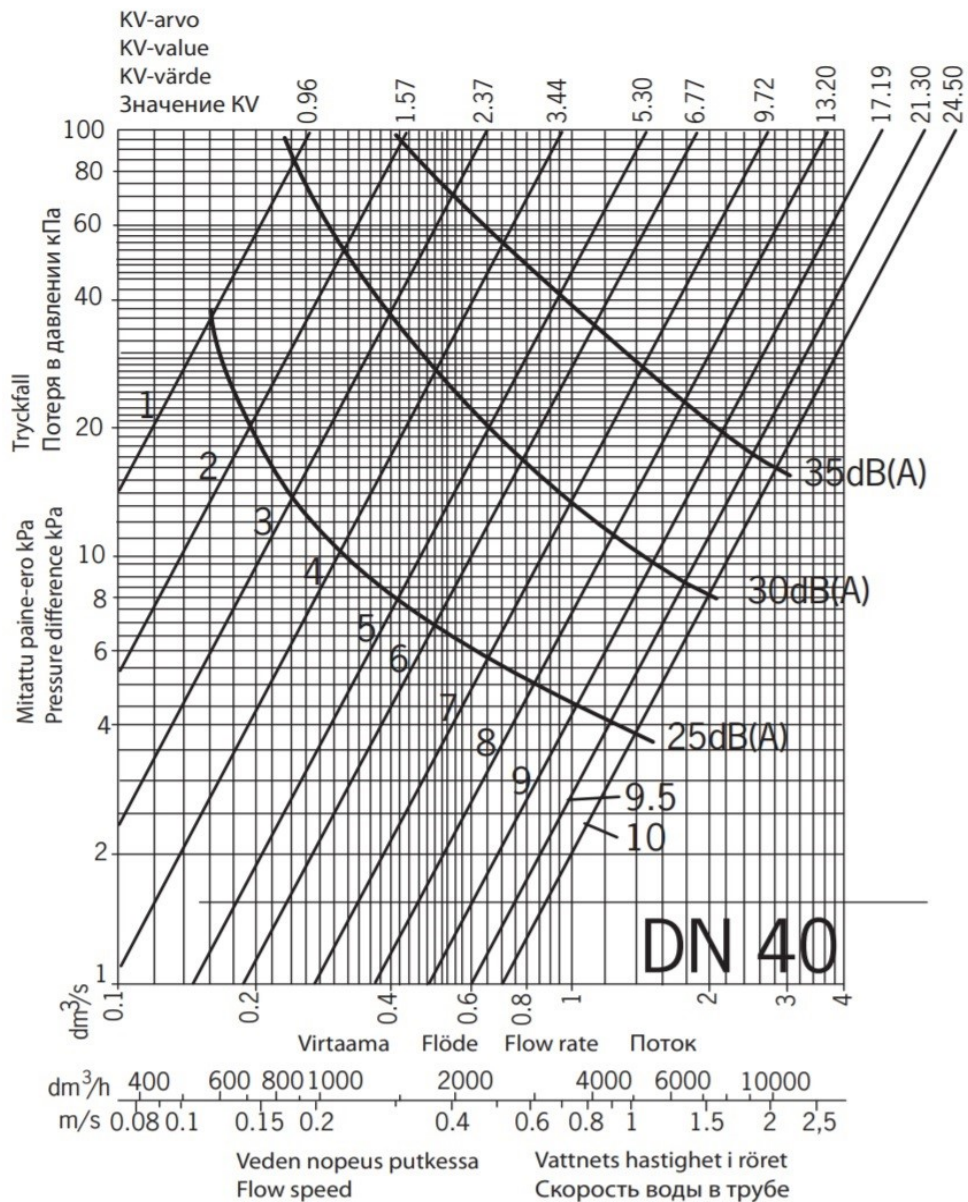
CAPACITY DIAGRAM



Kuva 17. ThermoMix 2.0 säätökäyrästä. (LK Armatur Ab 2021).

Järjestelmään sijoitetaan myös kertasäätöventtiileitä, joiden avulla saadaan järjestelmän virtaamat ja painehäviöt pidettyä suunnitelluissa arvoissa. Kertasäätöventtiilien mittausyhteistä pystytään varmistamaan mittaamalla, että suunnitellut virtaamat toteutuvat. Kertasäätöventtiileiksi järjestelmään valitaan Oraksen STAD linjasäätöventtiilit. Linjasäätöventtiileiden kv-arvot ja painehäviöt saadaan kuvien 18 ja 19 säätökäyrästä.

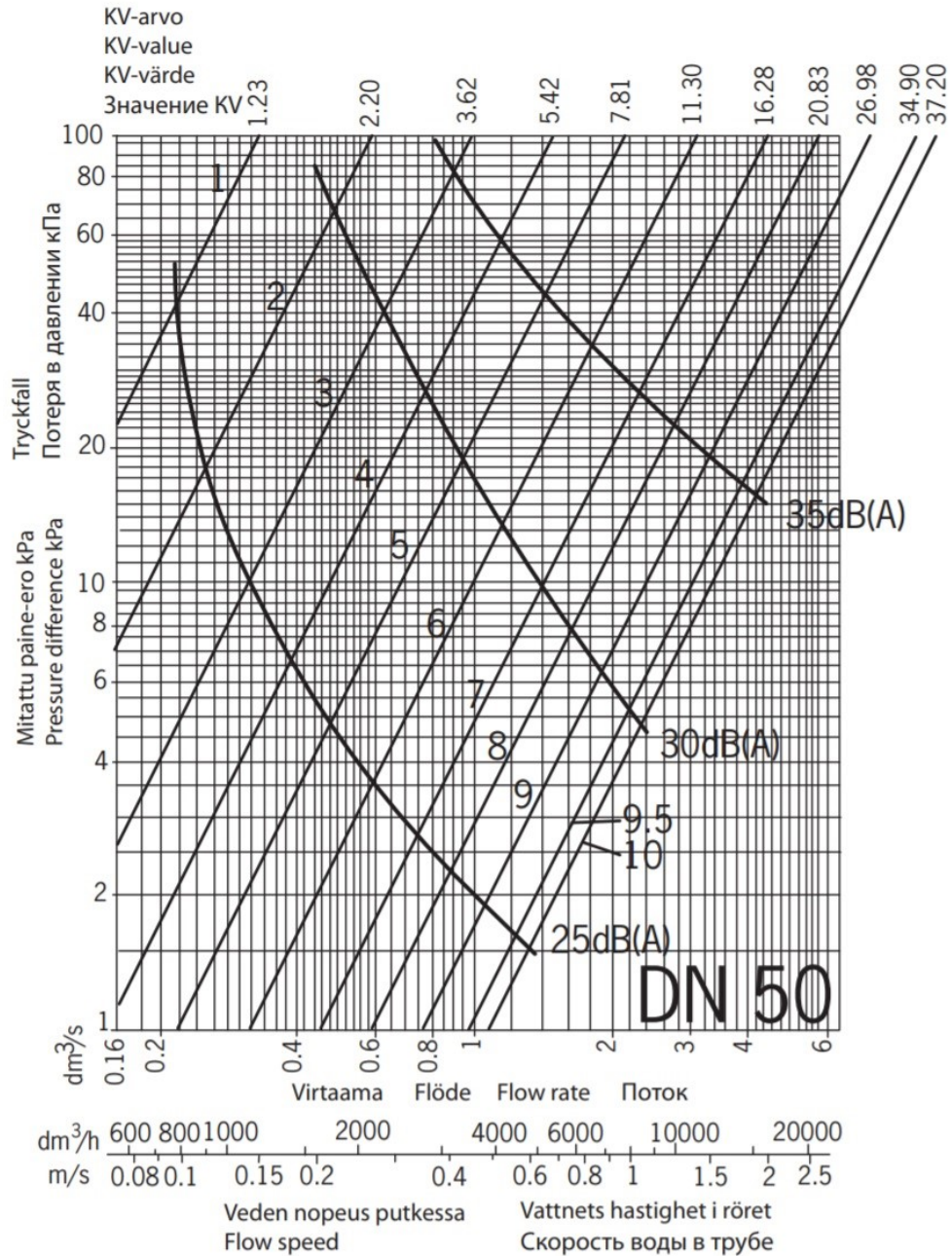
Linjasäätöventtiili / 410040 Pumpunsäätöventtiili / 411042



Virtaamakäyrät on laadittu vedelle. Muiden nesteiden, esim. glykolin, erilainen viskositeetti muuttaa käyrää. Ohjeita ja kertoimia saa valmistajalta.

Kuva 18. DN40 STAD linjasäätöventtiilin säätökäyrästä. (Oras Oy 2021).

Linjasäätöventtiili / 410050 Pumpunsäätöventtiili / 411054



Virtaamakäyrät on laadittu vedelle. Muiden nesteiden, esim. glykolin, erilainen viskositeetti muuttaa käyrää. Ohjeita ja kertoimia saa valmistajalta.

Kuva 19. DN50 STAD linjasäätöventtiilin säätökäyrästä. (Oras Oy 2021).

Säätölaitteiden avulla säädellään myös rotaatiovalukoneen pakokaasukanavan virtauksia. Pakokaasukanavaan sijoitettavien säätölaitteiden tulisi kestää pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun korkeita lämpötiloja. Savukaasukanavaan voidaan sijoittaa FläktGroup Oy:n ESAR savunhallintapellit, joiden avulla kanavassa virtaavaa savukaasua voidaan ohjata halutuun kanavaan. ESAR savunhallintapelti on varustettu 24 V toimilaitteella. Toimilaitte voidaan yhdistää taloautomaatioon, jolloin savunhallintapeltien asennot vaihtuvat pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötilan perusteella. (FläktGroup Oy 2021c).

4.1.9 Automaatio

Lämmöntalteenottojärjestelmän pääkomponentit ja säätölaitteet yhdistetään olemassa olevaan taloautomaatiojärjestelmään. Tällä saadaan järjestelmälle toimintavarmuutta sekä järjestelmän automatisointi helpottaa erilaisten toimintahäiriöiden havaitsemista. Järjestelmään asennetaan useita lämpötila- ja paine-antureita, joista taloautomaatiojärjestelmä saa dataa jonka avulla se ohjaa lämmöntalteenottojärjestelmässä olevia komponentteja.

4.2 Järjestelmän toiminta

Lämpötila-anturi TE6.1 mittaa rotaatiovalukoneen palotilasta puhallettavan savukaasun lämpötilaa. Kun TE6.1 havaitsee savukaasun lämpötilan olevan alle 100 °C, niin sulkupelti SP-1.1 on auki-asennossa. Savukaasun lämpötilan ollessa alle 100 °C sulkupellit SP-2.1 ja SP-3.1 ovat kiinni asennossa. Savukaasun lämpötilan noustessa yli 100 °C sulkupelti SP-1.1 sulkeutuu kun taas SP-2.1 ja SP-3.1 ovat auki asennossa, jolloin lämmin savukaasu ohjataan lämmöntalteenottolaitteille LTO-1 ja LTO-2. Tällöin järjestelmä on niin sanotussa LTO-asennossa eli lämpimästä pakokaasusta otetaan lämpöenergiaa talteen. Kun pakokaasukanavassa olevat sulkupellit ovat LTO-asennossa, niin kiertovesipumppu PU-4 kierrättää 40-asteista vettä lämmöntalteenottolaitteiden läpi. Lämmöntalteenottolaitteen jälkeen vesi on lämmennyt 90-asteiseksi. Kun veteen on saatu varastoitua savukaasun lämpöenergiaa, se ohjataan varaajaan. Lämpötila-anturit TE4.1,

TE4.2 ja TE4.3 mittaavat jatkuvasti varaajassa varastoitavan veden lämpötilaa. Kun varaajan yläosassa oleva TE4.1 havaitsee veden lämpötilan olevan 87 °C, niin kiertovesipumput PU-1, PU-2 ja PU-3 alkavat pumppaamaan lämmintä vettä lämmitysverkostoiden lämmönsiirtimille LS1.1, LS2.1 ja LS3.1. Lämpötila-anturit TE1.2, TE2.2 ja TE2.3 mittaavat lämmönsiirtimelle tulevan veden lämpötilaa. Kun anturit havaitsevat veden olevan 87 °C, niin sekoitusventtiilit TV-1.1, TV-2.1 ja TV-3.1 menevät asentoon B–AB. Tällöin lämmitysverkostosta suljetaan kaukolämmönsiirrin pois ja rinnakkainkytketyt lämmönsiirtimet LS1.1, LS2.1 ja LS3.1 lämmittävät lämmitysverkoston veden. Lämpötilantureilla mitataan lämmönsiirtimien ensiöpuolelta sekä meno- että paluuveden lämpötilaa, ja pumpun virtausnopeus säätyy antureiden mittausdatan perusteella niin, että suunniteltu veden jäähtymä toteutuu lämmönsiirtimissä. Kun rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavan savukaasun lämpötila on alle 100 °C, järjestelmän kiertovesipumput kierrättävät järjestelmässä olevaa vettä miniminopeudella. Kun järjestelmässä olevat lämpötila-anturit havaitsevat, ettei järjestelmässä ole saatavilla tarpeeksi lämpöenergiaa, sekoitusventtiilit TV-1.1, TV-2.1 ja TV-3.1 menevät asentoon A–AB. Tällöin lämmityspiireissä virtaavan veden lämmityksen hoitaa olemassa olevat kaukolämmönsiirtimet. Ennen lämmöntalteenottolaitteita olevien suodattimien molemmin puolin on paine-anturit, jotka mittaavat jatkuvatoimisesti suodattimen aiheuttamaa painehäviötä. Kun suodattimen painehäviö kasvaa yli sille asetetun raja-arvon likaantumisen johtuen, taloautomaatiojärjestelmä lähettää tästä viestin esimerkiksi kiinteistöhuollolle. Kaikki järjestelmän komponentit laitetunnuksineen on merkitty liitteenä 1 olevaan järjestelmäkaavioon.

5 INVESTOINTI

Lämmöntalteenottojärjestelmän kustannukset koostuvat järjestelmään tulevien komponenttien hankintakustannuksista ja järjestelmän asennuskustannuksista. Koska järjestelmän lopullista sijoituspaikkaa ei ole tiedossa mahdollisen toisen rotaatiovalukoneen hankinnan takia, on esimerkiksi tarvittavien putki määrien arviointi vaikeaa. Toimeksiantajan kanssa käytyjen keskusteluiden aikana esitettiin mahdollisen uuden teknisentilan sijainniksi uuden ja olemassa olevan rotaatiovalukoneen väliin jätettävää tilaa. Uuteen tekniseentilaan voitaisiin sijoittaa uusi lämmönjakokeskus. Nykyiset lämmitysverkostojen lämmönsiirtimet sijaitsevat noin 50 metrin päässä rotaatiovalukoneesta, jonka yläpuolelle uudet lämmöntalteenottolaitteet sijoittuisivat.

Tässä työssä tarkoituksena on listata lämmöntalteenottojärjestelmän pääkomponenttien budjettihinnat. Hinnat voivat poiketa urakoitsijan hankintahinnoista. Komponenttien budjettihinnat on kysely kyseisten komponenttien valmistajilta. Järjestelmän pääkomponenttien yksikköhinnat ilman arvonlisäveroa on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Komponenttien yksikköhinnat.

Komponentti:	Valmistaja:	Tarve:	Yksikkö-hinta:	Yhteensä:
LTO-laite	Finnstainless Oy	2 kpl	50 000 € / kpl	100 000 €
Lämmönsiirrin B10THx40	HögforsGST Oy	1 kpl	1 100 € / kpl	1 100 €
Lämmönsiirrin B10THx50	HögforsGST Oy	1 kpl	1 100 € / kpl	1 100 €
Lämmönsiirrin B12MTx50	HögforsGST Oy	1 kpl	1 400 € / kpl	1 400 €
Kiertovesipumppu MAGNA3 25-100	Grundfos	3 kpl	1 093 € / kpl	3 279 €
Kiertovesipumppu MAGNA3 32-120 F	Grundfos	1 kpl	1 614 € / kpl	1 614 €

(jatkuu)

Taulukko 5 (jatkuu).

Komponentti:	Valmistaja:	Tarve:	Yksikköhinta:	Yhteensä:
Linjasäätöventtiili DN40	Oras Oy	2 kpl	169,95 € / kpl	339,90 €
Linjasäätöventtiili DN50	Oras Oy	3 kpl	273,93 € / kpl	821,79 €
Teräsputki DN50	Geberit Oy	60 m	17,05 € / m	1 023 €
Teräsputki DN65	Geberit Oy	420 m	19,82 € / m	8 324,40 €
Mineraalivillakouru DN50 putkelle	Isover Oy	60 m	13,45 € / m	9 151,80 €
Mineraalivillakouru DN65 putkelle	Isover Oy	420 m	21,79 € / m	807 €
Savunhallintakanava ESAD 500mm	Fläktgroup Oy	16 m	59,50 € / m	952 €
Savunhallintakanava ESAD 630mm	Fläktgroup Oy	16 m	66,90 € / m	1070,40 €
Eristematto U TECH Pipe section mat 3.0 500mm – 630mm kanavalle	Isover Oy	32 m	39,19 € / jm	1254,08 €
ESAR savunhallinta- pelti toimilaitteella. 500mm	Fläktgroup Oy	2 kpl	945 € / kpl	1 890 €
ESAR savunhallinta- pelti toimilaitteella 630mm	Fläktgroup Oy	1 kpl	1010 € / kpl	1010 €

(jatkuu)

Taulukko 5 (jatkuu).

Komponentti:	Valmistaja:	Tarve:	Yksikkö-hinta:	Yhteensä:
Ulospuhallus hajoitin EYMA-2 500mm	Fläktgroup Oy	2 kpl	1 023 € / kpl	2 046 €
Ulospuhallus hajoitin EYMA-2 630mm	Fläktgroup Oy	1 kpl	1317 € / kpl	1317 €
Paisunta-automaatti Servitec 60	Termovent Oy Ab	1 kpl	4 585 € / kpl	4 585 €
3-tie sekoitusventtiili LK840 ThermoMix 2.0 DN40	LK Armatur Ab	2 kpl	94,90 € / kpl	189,80 €
3-tie sekoitusventtiili LK840 ThermoMix 2.0 DN50	LK Armatur Ab	1 kpl	141 € / kpl	141 €
Varaaja	Kaukora Oy	1 kpl	10 000 € / kpl	10 000 €
Automaatio tarvikkeet (anturit, toimilaitteet)	-	-	-	10 000 €

5.1 Käytönaikaiset kustannukset

Lämmöntalteenottojärjestelmän käytön aikaiset kustannukset muodostuvat järjestelmässä sähkövirtaa kuten esimerkiksi kiertovesipumppujen ja säätölaitteiden toimilaitteiden käytöstä. Taulukossa 6 on esitetty lämmöntalteenottojärjestelmässä olevien kiertovesipumppujen sähkönkulutus, mikäli kiertovesipumput pumppaisivat järjestelmän vettä suunnitelmien mukaisella tilavuusvirralla. Sähkön hintana käytettiin energiaviraston tilastoja, jonka mukaan sähkön hinta on vuonna 2021 vaihdellut 5,82-7,60 snt / kWh välillä. Kiertovesipumppujen käytönaikaisten kustannusten laskennassa käytettiin sähkönhinnan keskiarvoa 6,71 snt / kWh. (Energiavirasto 2021.)

Taulukko 6. Kiertovesipumppujen käytönaikaiset kustannukset. (Oy Grundfos Pumput Ab 2021).

Kiertovesi- pumppu:	Sähköteho:	Sähkönkulutus / vuosi:	Kustannus / vuosi:
PU-1	0,105 kW	408 kWh	27,4 €
PU-2	0,121 kW	449 kWh	30,1 €
PU-3	0,193 kW	763 kWh	51,2 €
PU-4	0,058 kW	287 kWh	19,3 €

Kiertovesipumppujen ympärivuorokautisen käytön sähkönkulutuksesta johtuvat kustannukset ovat yhteensä 128 € vuodessa. Käytönaikaisiin kustannuksiin voidaan laskea mukaan myös järjestelmässä olevien komponenttien kulutusosien vaihdot ja huollot, kuten esimerkiksi suodattimien vaihto.

6 INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

Taulukossa 5 esitettiin lämmöntalteenottojärjestelmään tulevien komponenttien budjettihintoja. Lämmöntalteenottojärjestelmän kokonaisinvestointikustannukseksi tulee siis 163 416,17 €. Investoinnin takaisinmaksuajan määrittämisessä käytetään yksinkertaistettua takaisinmaksuajan menetelmää. Menetelmän avulla takaisinmaksuaika saadaan laskettua jakamalla investointimeno vuotuisella nettotulolla. Vuotuisella nettotulolla tarkoitetaan tässä tapauksessa rahallista määrää, jonka yritys säästää kaukolämmönjakelijalta ostetusta energiasta, kun kiinteistön lämmitysjärjestelmiä lämmitetään rotaatiovaalukoneen pakokaasukanavasta talteenotetulla lämpöenergialla. Taulukossa 4 on esitetty yrityksen kaukolämpöjakelijalta ostamat energianmäärät vuosien 2015–2020 ajalta. Yrityksen vuotuisten nettotulojen selvittämisessä käytetään edellä mainittujen vuosien energianmäärän laskettua keskiarvoa. Taulukon 4 mukaan yrityksen vuotuinen ostettu energiamäärä on 141 MWh. Energianhinnat kyseltiin paikallisesta kaukolämmönjakelijalta. 1 MWh energiaa maksaa paikalliselta kaukolämmönjakelijalta 59,50 € ja sen lisäksi kuukausittain energianmäärän lisäksi laskuun lisätään perusmaksu, joka on suuruudeltaan 340 €. Energianhinnat ja perusmaksut on arvonlisäverottomia.

Yritys maksaa tällä hetkellä kaukolämpöjakelijalta ostetusta energiasta keskimäärin 12 470,00 €. Tätä summaa käytetään vuotuisena nettotuotona. Kun lämmöntalteenottojärjestelmän investointikustannus jaetaan vuotuisella nettotuotolla, järjestelmän takaisinmaksuajaksi tulee noin 13 vuotta. Tämä tarkoittaa, että kun lämmöntalteenottojärjestelmää on käytetty 13 vuoden ajan, niin tämän jälkeen yritys säästää vuosittain 12 470 €.

7 YHTEENVETO

Idea tästä opinnäytetyön aiheesta tuli toimeksiantajalta. Aluksi käytiin keskustelua LVI-suunnitelmien tietomallinnuksesta mutta päädyttiin hukkalämmön talteenottoon. Teollisuuden hukkalämmön talteen-otosta tekee haastavan kohteeseen sopivien komponenttien löytäminen. Kollegoiden apu onkin ollut korvaamatonta tätä opinnäytetyötä tehdessä ja erityisesti sopivien komponenttien valitsemisessa opinnäytetyössä esitettyyn lämmöntalteenottojärjestelmään. Yleensä myös teollisuudessa etäisyydet ovat haastellisia, kuten myös tässä opinnäytetyössä. Hukkalämpöä tuottava rotaatiovalukone sijaitsee toisessa päässä tuotantotilaa lämmönjakokeskukseen nähden.

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää, onko mahdollista ottaa talteen rotaatiovalukoneen pakokaasukanavassa virtaavasta savukaasusta lämpöenergiaa. Työssä on kartoitettu mahdollisen talteenotetun lämpöenergian hyödyntämiskohteet ja esitetty pääkomponentit lämmöntalteenottojärjestelmästä. Työssä on laskettu investoinnille budjettihinta ja lämmöntalteenottojärjestelmälle takaisinmaksuaika käyttäen yksinkertaistettua takaisinmaksuajan menetelmää. Lämmöntalteenottojärjestelmän komponentteja mitoittaessa komponenttien määrä kasvoi alkuperäisestä määrästä. Alun perin tarkoituksena oli mitoittaa tarvittavat lämmönsiirtimet, varaaja ja lämmöntalteenottolaitteet sekä kirjoittaa pienimuotoinen toimintaselostus järjestelmän toiminnasta. Lähtökohdasta poiketen jouduttiin mitoittamaan uudelleen esimerkiksi kanava- ja putkikokoja, kiertovesipumppuja ja venttiileitä.

Lämmöntalteenottojärjestelmälle saatiin laskettua suuntaa-antava budjettihinta ja takaisinmaksuaika. Tässä opinnäytetyössä ei ole ollut tarkoitus ottaa kantaa siihen, onko investointi kannattavaa vaan työn tarkoituksena oli antaa tukea ja tietoa yritykselle investointipäätöksen tekoon. Lämmöntalteenottojärjestelmän avulla yritys kuitenkin tekisi tietyn ajanjakson jälkeen säästöä ja teollisuusprosessissa muodostuvan hukkalämmön talteenotolla on myös suuri ympäristövaikutus. Investoinnille saadaan suuremmat hyödyt, mikäli yritys päättää investoida toiseen samanlaiseen rotaatiovalukoneeseen, jonka hukkalämpö myös hyödynnetään. Uuden rotaatiovalukoneen hukkalämmöntalteenottojärjestelmän suunnittelu voidaan ottaa huomioon jo tuotantohallin laajennusosaa ja uuden rotaatiovalukoneen sijaintia suunnitellessa. Tällöin mahdollisen putkilinjojen pituudet saataisiin pienemmäksi sijoittamalla lämmöntalteenottojärjestelmää varten oma tekninen tila lämmöntalteenottolaitteiden läheisyyteen.

LÄHTEET

Motiva Oy 2019. Esiselvitys, Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. Viitattu 12.4.2021 [https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys - Ylijaamalammon potentiaali teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf)

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. <https://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Swegon Oy 2021. Erilaiset lämmönsiirintyytit. Viitattu 5.5.2021 <https://www.swegon.com/fi/op-paat/tekniikat/erilaiset-lammonsiirintyytit/>

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihto määräykset ja ohjeet 2003. Viitattu 5.5.2021 https://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012_Suomi.pdf

Energiateollisuus ry. K1 2020. Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet. Viitattu 25.6.2021 https://energia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf

Finnstainless Oy 2021. Ilmalämmön talteenottojat. Viitattu 27.6.2021 https://finnstainless.fi/images/download/finnstainless_Ilmalammon_talteenottoajat.pdf

FläktGroup Oy 2021a. Ulospuhallushajoinit EYMA-2. Ilmanottolaite DYMA-1. Tekninen esite. Viitattu 27.6.2021 <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/fd29c6ef-d447-4b9f-893d-8ff8462fc81f?search=1>

FläktGroup Oy 2021b. Pyöreä kanavajärjestelmä VELODUCT. Tekninen esite. Viitattu 28.6.2021 <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/47a2cc4b-ce98-4a6c-9274-9e5b5431a462?search=0>

FläktGroup Oy 2021c. CE-merkitty ESAD-savunhallintakanavajärjestelmä. Asennus-, käsittely- ja varastointiohjeet. Viitattu 28.6.2021 <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/320f671c-746b-4a1e-8cd6-a175c6ce4460?search=1>

Isover Saint-Gobain 2021. TECH Pipe Section Mat 3.0 Alu1. Viitattu 28.6.2021 <https://www.iso-ver-tekniset-eristeet.fi/tuotteet/tech-pipe-section-mat-30-alu1>

Cervi Oy 2021. Lämmöntalteenotto, LTO. Viitattu 18.7.2021 <https://www.cervi.fi/palvelut/lammon-talteenotto-lto>

Sandberg, E. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät ilmastointitekniikka osa 1. Toinen, uudistettu painos. Forssa Print: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Termovent Oy Ab 2021. Reflex Servitec – tyhjiökaasunpoistaja. Viitattu 7.7.2021 https://termovent.fi/termovent_tuote/reflex-servitec-tyhjiokaasunpoistaja/

Termovent Oy Ab 2021. Reflex Servitec tyhjiökaasunpoistajat. Työselitysteksti. Viitattu 7.7.2021 <https://termovent.fi/wp-content/uploads/2018/05/Termovent-Tyo%CC%88selitys.pdf>

Oy Grundfos Pumput Ab 2021. Mitoitussivu. Viitattu 9.7.2021 <https://product-selection.grundfos.com/fi/size-page?qcid=1400623256>

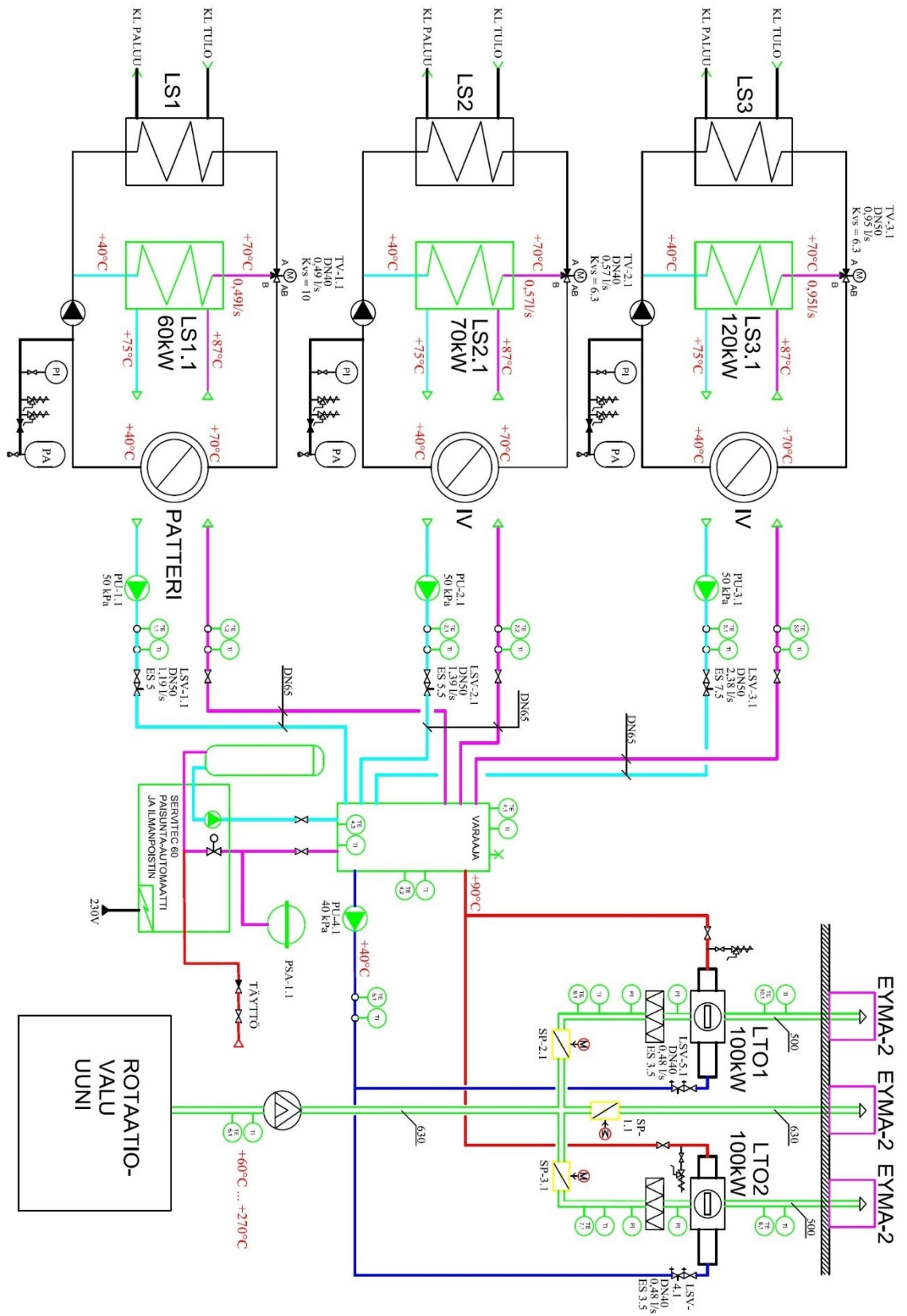
LK Armatur Ab 2021. LK840 ThermoMix 2.0, LK841 ThermoMix 2.0. Tekninen esite. Viitattu 20.8.2021 https://cerbos.ee/img/cms/kutteautomaatika/LKArmatur/mixing-valves-840_841-thermomix-2.pdf

Oras Oy 2021. Venttiilit / Säätkäyrät. Viitattu 18.8.2021 https://www.oras.com/fileadmin/resources/15808_4100-4110-4120_Saatokayrat.pdf

FläktGroup Oy 2021d. Savunhallintapelti ESAR. Tekniset tiedot. Viitattu 22.8.2021 <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/5ea57af9-10a4-4b79-ab7a-3a8709b16759?search=0>

Energiavirasto 2021. Sähkön hintavertailu. Viitattu 25.9.2021 <https://www.sahkonhinta.fi/results>

Järjestelmäkaavio



Lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitus

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS		LS 1.1		LS 2.1		LS 3.1	
LÄMMÖNSIIRTIMET	Yksikkö						
Valmistaja							
Malli							
Teho	kW	60		70		120	
Tilavuusvesivirta	dm ³ /s	Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio
Lämpötilat	°C	1,19	0,49	1,39	0,57	2,38	0,95
Painehäviö	kPa	87/75	40/70	87/75	40/70	87/75	40/70
Suunnittelupaine	MPa	17	3	16,5	3	15,5	2,5
Virtava-aine		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Rakennearine		VESI	VESI	VESI	VESI	VESI	VESI
Tilavuus (ensio/toisio)	L	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401
		1,16	1,22	1,46	1,53	1,51	1,58
SAÄTÖVENTTIILIT		TV1.1		TV2.1		TV3.1	
Valmistaja		LK ARMATUR AB		LK ARMATUR AB		LK ARMATUR AB	
Malli		LK 840 THERMOMIX 2.0		LK 840 THERMOMIX 2.0		LK 840 THERMOMIX 2.0	
Virtaus	dm ³ /s	0,49		0,57		0,95	
Painehäviö	kPa	10		13,3		9	
Koko / kvs-arvo	DN / kvs	DN40 / 10		DN40 / 6,3		DN50 / 6,3	
KIERTOVESIPUMPUT		PU-1.1		PU-2.1		PU-3.1	
Valmistaja		GRUNDFOS		GRUNDFOS		GRUNDFOS	
Malli		MAGNA3 25-100		MAGNA3 25-100		MAGNA3 25-120 F	
Virtaus	dm ³ /s	1,23		1,43		2,45	
Nostokorkeus	kPa	50		50		50	
Mootorin teho	W	105		121		193	
PAISUNTA- JA VAROLAITTEET		Yksikkö		LTO-JÄRJESTELMÄ			
Paisunta-astia		dm ³		PAISUNTA-AUTOMAATTI			
Esipaine		kPa		PAISUNTA-AUTOMAATTI			
Varoventtiilin koko / avautumispain		DN / kPa					