



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

NIKOLAI HALME

**Selvitys lämmön talteenoton  
mahdollisuuksista  
jäähdytysvedestä**

AURUBIS FINLAND OY

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-  
OHJELMA  
2021

Tekijä(t) Halme, Nikolai	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
<p>Julkaisun nimi <b>Selvitys lämmön talteenoton mahdollisuuksista jäähdytysvedestä</b></p>		
<p>Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka</p>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin lämmön talteenoton mahdollisuuksia jäähdytystunnelin jäähdytysvedestä Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamossa. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon lämpöenergiaa on sitoutunut jäähdytysveteen ja millä lämmön talteenoton keinoin sitä olisi mahdollista hyödyntää ja missä kohteessa.</p> <p>Aurubis Finland Oy:n tavoitteena on ollut parantaa sen energiatehokkuutta ja yksi keino siihen olisi lämmön talteenottojärjestelmä jäähdytystunnelin jäähdytysveteen. Tällä hetkellä lämpöenergiaa sisältävää hyödyntämiskelpoista jäähdytysvettä johdetaan viemärin kautta jokeen ilman lämmön talteenottoa. Ylijäämälämpöä sitoutuu jäähdytysveteen kuumavalssatun kuparilevyn jäähdytyksessä, kun jäähdytystunnelissa sijaitsevat suuttimet suihkuttavat jäähdytysvettä kuumaan kuparilevyyn.</p> <p>Työssä selvitettiin jäähdytystunnelin vesivirtojen lämpötiloja ja huomattiin, että jokeen palaavan veden lämpötila oli noin 40-50 °C tuotannon ollessa käynnissä. Jäähdytysveden melko matalasta lämpötilasta johtuen, lämpöä voitaisiin hyödyntää lämpöpumpulla tai vesikiertoisilla lämminilmapuhaltimilla. Lämpöpumppuratkaisussa jäähdytysveden lämpötilaa nostettaisiin riittävästi, jotta sitä voitaisiin siirtää kuparivalssaamon lämpöverkkoon, josta sitä voitaisiin helposti käyttää halutussa kohteessa.</p> <p>Selvityksen perusteella, kohteeseen voidaan suositella lämmön talteenottojärjestelmää, koska jäähdytysveden lämmöllä voidaan korvata ostettavan kaukolämmön määrää ja säästää rahaa. Ratkaisuehdotus olisi lämpöpumppujärjestelmä, jonka avulla voitaisiin nostaa jäähdytysveden lämpötilaa kuparivalssaamon lämpöverkkoon sopivaksi. Valssaamon lämpöverkosta lämpöä voitaisiin siirtää myös Pori Energian kaukolämpöverkkoon, mikäli lämpöä jää ylitse.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> lämmön talteenotto, jäähdytysvesi, hukkalämpö, ylijäämälämpö, lämpöpumppu</p>		

Author(s) Halme, Nikolai	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 42	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Report on the possibilities of heat recovery from cooling water</b>		
Degree program Bachelor of Engineering, Energy and Environmental Technology		
<p>Abstract</p> <p>This thesis studied the possibilities of heat recovery from cooling tunnel's cooling water at the copper rolling mill of Aurubis Finland Ltd. The goal was to find out, how much thermal energy is transferred to cooling water and by what means of heat recovery it would be possible to exploit it and for what purpose.</p> <p>Aurubis Finland Ltd's aim has been to improve its energy efficiency and one means of it would be a heat recovery system for cooling tunnel cooling water. Currently recoverable cooling water containing thermal energy is piped through a drain into the river without heat recovery. Surplus heat is transferred to cooling water in the cooling of the hot-rolled copper plate when the nozzles located in the cooling tunnel spray cooling water on a hot copper plate.</p> <p>In this work temperatures of water flows in the cooling tunnel were studied and it was discovered that the temperature of the water returning to the river was about 40-50 °C while production was in progress. Due to the rather low temperature of the cooling water, heat could be utilized by a heat pump or with water-circulating warm air fans. The temperature of the cooling water should be increased sufficiently with a heat pump if the heat is fed into a district heating network of the copper rolling mill.</p> <p>Based on the report, the heat recovery system can be recommended because the heat of the cooling water can replace the need for district heating to be purchased and save money. The proposed solution would be heat pump system which would allow to raise the temperature of the cooling water to fit the thermal grid of the copper rolling mill. Heat from the rolling mill heat could also be transferred to Pori Energia's district heating network if heat is left over.</p>		
<p><u>Key words</u> heat recovery, cooling water, waste heat, excess heat, heat pump</p>		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 AURUBIS FINLAND OY .....	7
2.1 Tietoa yrityksestä .....	7
2.2 Aurubis Finland Oy:n ympäristö- ja energiapolitiikka .....	8
3 TUTKIMUSASETELMA.....	10
3.1 Työn kuvaus .....	10
3.2 Työympäristön kuvaus .....	11
3.3 Selvityksen tavoitteet .....	11
4 JÄÄHDYTYSTUNNELI.....	11
4.1 Jäähdytystunnelin toimintaselostus.....	12
4.2 Jäähdytystunnelin vesivirtojen lämpötiloja.....	16
5 LÄMMÖN TALTEENOTTO.....	18
5.1 Yleistä lämmön talteenotosta .....	18
5.2 Lämmönsiirtimet lämmön talteenotossa .....	19
5.3 Lämpöpumppujen hyödyntäminen lämmön talteenotossa.....	20
5.4 Lämpöpumpputyypin ominaisuuksia .....	21
6 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET.....	22
6.1 LeaseGreen – Energiatehokkuutta elinkaaripalveluna esiselvitys .....	22
6.2 Mekaaninen lämpöpumppu .....	24
6.3 Absorptiolämpöpumppu.....	25
6.4 Lämpöpumpputyypin valinta .....	27
7 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISKOHTEET .....	28
7.1 Käyttökohteiden kartoittaminen.....	28
7.2 Kaukolämmön kulutus ja siirto .....	30
7.3 Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko .....	31
7.4 Hyödyntäminen omassa kiinteistössä .....	33
7.4.1 Lämpöpumppujärjestelmä .....	33
7.4.2 Lämminilmapuhaltimet.....	37
7.5 Kojan ja NIBEn lämpöpumppujärjestelmien vertailu.....	38
7.6 Hyödyntäminen lähikiinteistöissä .....	38
8 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS.....	39
8.1 Kojan lämpöpumppujärjestelmän mitoituksen 1. vaihtoehto.....	39
8.2 Lämminilmapuhaltimet .....	41
9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
LÄHTEET	

## LIITTEET

Kuva 1. Suunnittele-Toteuta-Arvioi-Toimi -malli. (Plan-Do-Check-Act eli PDCA). .....	10
Kuva 2. Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamon jäähdytystunneli.....	12
Kuva 3. Yksinkertaistettu kuva jäähdytysprosessista. ....	14
Kuva 4. Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamon jäähdytystunnelin lämmönsiirrin Alfa Laval M15-BFM8. ....	15
Kuva 5. Lämmönsiirtimeltä jokeen palaavan veden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021). ....	16
Kuva 6. Lämmönsiirtimelle menevän jokiveden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021). .....	17
Kuva 7. Lämmönsiirtimeltä lähtevän jäähdytysveden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021). ....	17
Kuva 8. Jäähdytystunnelista lämmönsiirtimelle palaavan veden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021). ....	18
Kuva 9. Mekaanisen lämpöpumpun toimintaperiaate. (Juvonen 2009, 11).....	25
Kuva 10. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate. (Sadeharju 2014, 86). ....	27
Kuva 11. Kuparivalssaamon lämmönjako. (Myllyharju 2021).....	29
Kuva 12. Jäähdytysprosessi, johon on kytkettynä Kojan lämpöpumppujärjestelmä. 34	
Kuva 13. NIBEn lämpöpumppujärjestelmän mitoitus. (Väätänen 2021). ....	35
Kuva 14. NIBEn suorittama energialaskelma kohteesta. (Väätänen 2021). ....	36
Kuva 15. Jäähdytysveden lämmön talteenotto Kojan 1. vaihtoehto. ....	39
Kuva 16. Lämpöpumppujärjestelmän energiakuvaaja. (Väätänen 2021). ....	45
Kuva 17. Lämpöpumppujärjestelmän kaapelointi. (Väätänen 2021).....	46
Kuva 18. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen. (Väätänen 2021).....	47
Kuva 19. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Väätänen 2021). .....	48
Kuva 20. Lämmönsiirtimen mallinnus. (Rahola 2021).....	49
Taulukko 1. Lämpöpumpputyyppeiden ominaisuuksia. (Maaskola & Kataikko 2014, 20). ....	21
Taulukko 2. Kaukolämmön kulutus valssaamossa 1.1.2019-28.2.2021 (Valkeejärvi 2021). ....	30
Taulukko 3. Kaukolämmön kulutus valimossa 1.1.2019-28.2.2021. (Valkeejärvi 2021). ....	30
Taulukko 4. Kaukolämmön siirto Pori Energialle Aurubis Finland Oy:ltä. (valimo) 1.1.2019-28.2.2021 (Valkeejärvi 2021). ....	31

## 1 JOHDANTO

Energiatehokkuuteen panostetaan nykyään ja tulevaisuudessa entistä enemmän kiristyvien rajoitusten ja linjauksien johdosta. Energiatehokkuus tarkoittaa tehokkaampaa energian käyttöä, kun pienennetään energian kulutusta ilman, että joudutaan pienentämään tuotantoa. Teollisuuden yritysten toimintaa linjaavat erilaiset standardit ja energiatehokkuusohjelmat, joiden mukaan yritykset ovat sitoutuneet toimimaan ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Yhtenä isoimpana ympäristöpäästöjen pienentämisen ja energiatehokkuuden lisäämisen keinona on hyödyntää teollisuuden prosessien yhteydessä syntyviä hukkalämpövirtoja.

Teollisuuden tuotannossa on suuria säästömahdollisuuksia liittyen tuotannossa syntyvään hukkalämpöön, jota kulkeutuu prosessikaasujen ja jäähdytysvesien muodossa suuria määriä ympäristöön. Suuri osa tästä hukkaan menevästä hukkalämmöstä olisi mahdollista ottaa talteen ja hyödyntää eri käyttökohteissa, kuten esimerkiksi tuotannon prosesseissa. Hukkaan menevän hyödyntämiskelpoisen lämpöenergian avulla voitaisiin säästää huomattavia määriä rahaa ja parantaa tuotantolaitoksen energiatehokkuutta. Lämmön talteenotto järjestelmä vähentäisi myös polttoaineiden tarvetta ja näin ollen myös kasvihuonekaasujen määrää. (Motiva Oy, 2013.)

Tässä opinnäytetyössä selvitetään lämmön talteenottojärjestelmän kannattavuutta ja mahdollisuuksia parantaa Aurubis Finland Oy:n tuotannon energiatehokkuutta. Lämmön talteenottojärjestelmän tarkoituksena on ottaa talteen ja hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa, jota syntyy kuumavalssatun kuparilevyn jäähdytyksessä. Tällä hetkellä hyödyntämättömänä energiatehokkuuden parantamisen resurssina on ylitse jäävä jäähdytyksen lämpöenergia, joka pumpataan jäähdytysveden mukana jokeen.

## 2 AURUBIS FINLAND OY

### 2.1 Tietoa yrityksestä

Aurubis Finland Oy on osa isoa saksalaista Aurubis-konsernia, jolla on toimipaikkoja useissa eri maissa ympäri maailmaa. Aurubis Finland Oy on Pohjoismaiden ainoa kuparivalssaamo, johon on myös integroitu valimo. Valmistettavia tuotteita käytetään esimerkiksi sähköautoissa ja tuulivoimaloissa. Vuonna 2017 liikevaihto oli 293,3 miljoonaa euroa, kasvaen 18 % vuoteen 2016 verrattuna. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Aurubis Finland Oy on maailmanluokan kaistale- ja levytuottaja kuparista sekä kupariseoksista, ja se tarjoaa palveluja ympäri maailmaa. Aurubis Finland Oy:n Porin tehdas valmistaa valssattuja kuparilevyjä ja -nauhoja sekä kuparivalanteita muun muassa sähkö- ja rakennusteollisuuden tarpeisiin. Porin tehdas toimii myös muilla teollisuuden aloilla, joissa kuparin sähkö- ja lämmönjohtavuutta tarvitaan. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Aurubis Finland Oy:llä on isona teemana vastuullisuus, jota ohjaavat eri standardit. Toimintaa ohjaavat: ISO 14001:2015-ympäristöstandardi, ISO 9001:2015-laatustandardi, ISO 45001:2018-työturvallisuusstandardi, ISO 50001:2018-energianhallintastandardi sekä ympäristösuojelulain mukainen ympäristölupa. Päämääränä on vähentää omasta tuotannosta syntyvien päästöjen ja jätteiden määrää sekä lisätä raaka-aineiden ja energian taloudellisempaa käyttöä. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Kuparivalimon eri prosessien hukkalämpöä ohjataan tällä hetkellä Pori Energian kaukolämpöverkkoihin, joilla voidaan lämmittää asuntoja. Tällä hetkellä hukkalämpöä otetaan talteen vuosittain 1 400 MWh, mutta potentiaalia on vielä huomattavasti enemmänkin sen hyödyntämisen suhteen. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

## 2.2 Aurubis Finland Oy:n ympäristö- ja energiapolitiikka

Aurubis Finland Oy:n tavoitteena on säilyttää ja suojella terveellistä ja turvallista ympäristöä minimoimalla aiheutuvia haittoja ja päästöjä. Yhtiö on sitoutunut minimoimaan toiminnastaan aiheutuvat päästöt. Ympäristönsuojelun toimintaa pyritään kehittämään jatkuvasti vastuullisuus edellä. Tämä tarkoittaa, että luonnonvaroja ja resursseja säästetään sekä muita ympäristöä kuormittavia tekijöitä pyritään välttämään. Ympäristönsuojelu vaatii erityistä suunnittelua kaikessa toiminnassa ja kehitettäessä tuotteita ja tuotantoa. Prosessissa olevat raaka-aineet ja syntyvät välituotteet on pystyttävä palauttamaan taloudelliseen kiertoon mahdollisimman vaivattomasti. Kaikki aiheutuvat jätteet on lajiteltava ja kierrätettävä oikein sekä mahdollisesti otettava uusiokäyttöön. Kaikennäköiset mahdolliset vaaratilanteet pitää pystyä suojaamaan ja ennakoimaan, jotta tuotannon ja toiminnan keskeytyminen ei aiheuta ympäristövaikutuksia. Työntekijöiden suojaaminen on tärkeässä osassa onnettomuuksien välttämässä. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Toinen keskeinen tavoite Aurubis Finland Oy:llä on parantaa sen energiatehokkuutta. Tuotannossa on suuria mahdollisuuksia esimerkiksi lämmön talteenotossa ja Aurubis Finland Oy tavoittelee kehitystä sähkön, nestekaasun, kaukolämmön, paineilman, kevyen polttoöljyn ja dieselin käytössä. Energiatehokkuutta pyritään tehostamaan erilaisilla kehitysprojekteilla, joiden avulla otetaan askelia kohti puhtaampaa ja tehokkaampaa tulevaisuutta. Lisäksi henkilöstöä ohjataan ja kannustetaan tekemään energiatehokkaita ratkaisuja ja kaikennäköisissä hankinnoissa otetaan huomioon energiatehokkuus. Energiatehokkuuden lisäämisellä ja tehokkaalla energian käytöllä saadaan pienennettyä CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjä. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Aurubis Finland Oy:n energiahallintajärjestelmään vaikuttavat eri sopimukset ja standardit. Näitä ovat energiatehokkuussopimus ja energiatehokkuuslaki, ISO 50001:2018 – Energianhallintajärjestelmät: Vaatimukset ja soveltamisohjeita sekä Aurubis -konsernin energiapolitiikka paikalliset tarpeet ja vaatimukset huomioon ottaen. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

Näiden eri sopimusten ja standardien lisäksi Aurubis Finland Oy on sitoutunut toimimaan energiatehokkaasti. Se on osallistunut Energiateollisuus ry:n

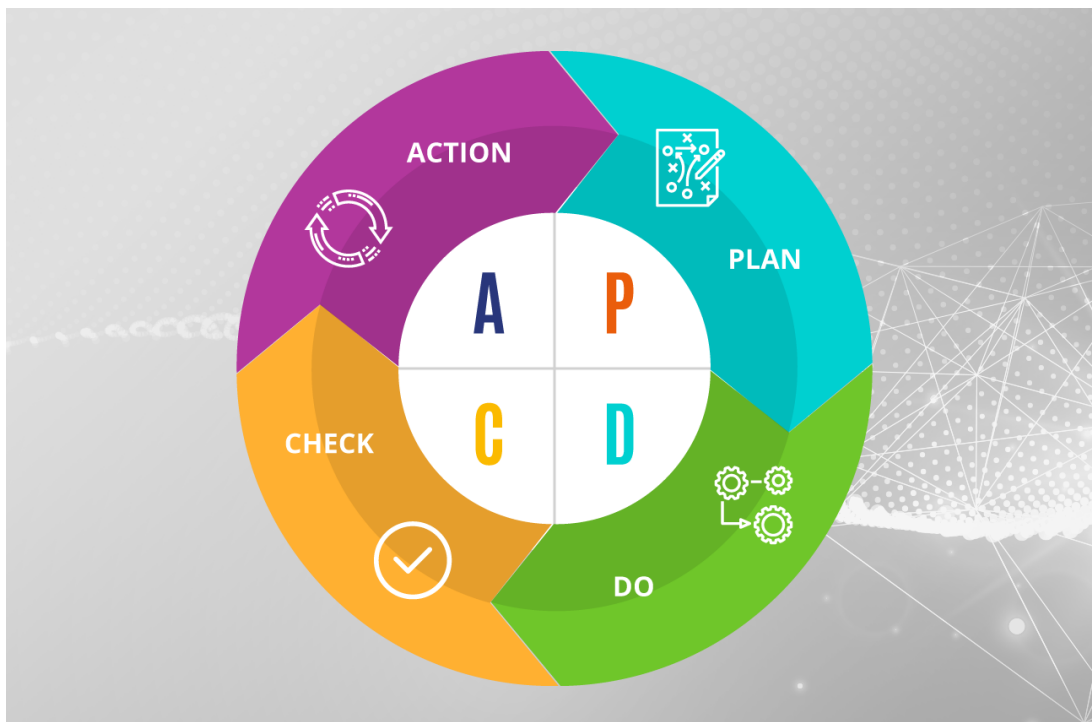


energiatehokkuusohjelmaan (Teknologiateollisuuden toimenpideohjelma, 2016), joka on voimassa 31.12.2025 asti. (Aurubis Finland Oy, 2021.)

ISO 50001:2018 – Energianhallintajärjestelmät: Vaatimukset ja soveltamisohjeita - standardin kuvaus:

”Tämän asiakirjan tarkoitus on auttaa organisaatiota vakiinnuttamaan järjestelmät ja prosessit, joita tarvitaan energiasuoritteiden jatkuvassa parantamisessa käsittäen energiatehokkuuden, energiankäytön ja energian kulutuksen. Tämä asiakirjaa yksilöi organisaation energianhallintajärjestelmälle asettavat vaatimukset. Energianhallintajärjestelmän onnistunut käyttöönotto edistää energiasuoritteiden parantumisen työkaluina. Onnistuminen riippuu organisaation kaikkien tasojen sitoutumisesta, erityisesti ylimmän johdon. Monissa tapauksissa asiaan liittyy organisaation työkaluina muutoksia” (SFS-EN ISO 50001, 6).

Kyseisen asiakirjan energianhallintajärjestelmän toiminta perustuu jatkuvan parantamisen kehään. Jatkuvan parantamisen kehä muodostuu neljästä eri vaiheesta: Suunnittele, toteuta, arvioi ja toimi. Kehän toimintamalli on tarkoitus liittää organisaation omaan toimintamalliin energianhallinnan parantamiseksi. Suunnitteluvaiheessa luodaan perusteellinen suunnitelma organisaation toiminnasta, joka koostuu monesta eri tehtävästä ja käsitteestä. Näitä ovat organisaation toimintaympäristö, energiapolitiikka, energianhallintaryhmä, energiakatselmus, indikaattorit, tavoitteet, toimenpidesuunnitelmat sekä riskeihin ja mahdollisuuksiin valmistautuminen. Toteutusvaiheessa toimitaan suunnitteluvaiheessa luodun toimintasuunnitelman perusteella ja käynnistetään toimenpideohjelmat, toiminnan ja kunnossapidon ohjaus ja tiedottaminen. Lisäksi otetaan energiasuorite huomioon suunnittelussa ja hankinnoissa. Arviointivaiheessa arvioidaan saatuja tuloksia ja verrataan niitä asetettuihin tavoitteisiin. Toteutetaan energiasuoritteiden ja energianhallintajärjestelmän katselmukset. Toimintavaiheessa tehdään mahdolliset tarvittavat muutokset jatkuvan parantumisen takaamiseksi energiasuoritteissa sekä energianhallintajärjestelmässä. (SFS-EN ISO 50001, 6.)



Kuva 1. Suunnittele-Toteuta-Arvioi-Toimi -malli. (Plan-Do-Check-Act eli PDCA).

### 3 TUTKIMUSASETELMA

Tässä luvussa avataan työn taustoja ja kerrotaan, millaisesta työympäristöstä on kyse. Lisäksi käydään läpi, minkälaisia tavoitteita tähän opinnäytetyöhön liittyy.

#### 3.1 Työn kuvaus

Aurubis Finland Oy:n tavoitteena on parantaa yrityksen energiatehokkuutta ja samalla pienentää kuluja. Työssä tarkastellaan lämmön talteenoton tarjoamia mahdollisuuksia, hyödyntämällä jäähdytystunnelin jäähdytysveden mukana hukkaan menevää lämpöä. Tällä hetkellä hyödyntämiskelpoista jäähdytysvettä johdetaan viemärin kautta jokeen, vaikka vettä pystyttäisiin todennäköisesti käyttämään esimerkiksi kiinteistön lämmitystarpeissa. Ratkaisua on aiemmin tarjonnut LeaseGreen Group Oy, joka laati esiselvityksen Aurubis Finland Oy:n energiatehokkuuden parantamisesta, jossa yhtenä kohtana oli juuri lämmön talteenotto jäähdytysvedestä. Vuonna 2017 tehty esiselvitys ei kuitenkaan johtanut toimenpiteisiin ja kysymys on yhä vailla ratkaisua.

### 3.2 Työympäristön kuvaus

Aurubis Finland Oy:n kiinteistöt sijaitsevat Porin Kupariteollisuuspuistossa, jossa sijaitsee myös muita metallialan toimijoita muun muassa Luvata Pori Oy, Cupori Oy ja Boliden Harjavalta Oy. Aurubis Finland Oy:n rakennuksia alueella ovat kuparivalssaamo, kuparivalimo, Nordic Center sekä varastot. Työ keskittyy pääosin valssaamoon, jossa jäähdytystunneli sijaitsee. Valssaamo jaetaan käytännössä kuumaan ja kylmään päähän. Jäähdytystunneli sijaitsee kuumassa päässä, heti kuumavalssaimen jälkeen. Valssaamon keskilämpötila pyritään pitämään noin 20 °C:ssa, mutta kesällä lämpötila saattaa nousta hieman korkeammaksi ja talvella päinvastoin.

### 3.3 Selvityksen tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kuumavalssaimen jälkeisen jäähdytystunnelin lämmön talteenoton mahdollisuuksia ja millä keinoin jäähdytysveden mukana hukkaan menevä lämpövirta voitaisiin hyödyntää. Työssä pyritään selvittämäänärkevin vaihtoehto energiatehokkuuden kannalta ylijäämälämmön talteenottoon sekä millaisia mahdollisia hyödyntämiskohteita talteen saadulla energialla on.

## 4 JÄÄHDYTYSTUNNELI

Tässä luvussa käsitellään jäähdytystunnelin toimintaprosessia ja esitetään sen eri vesivirtojen lämpötiloja. Prosessia on havainnollistettu kuvien ja taulukoiden muodossa.



Kuva 2. Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamon jäädytystunneli.

#### 4.1 Jäähdytystunnelin toimintaselostus

Kuumavalssaimelta tulee jäädytystunneliin 40 t/h eli 40 000 kg/h, joka tarkoittaa noin 6 rullaa kuparia tunnissa. Kuumavalssatun levyn lämpötila on valssauksen jälkeen noin 800 °C ja tavoitteena on saada se noin 50 °C lämpötilaan. Kuuma kuparilevy tulee

kuumavalssilta kuljetuslinjan rullia pitkin jäädytystunneliin, jossa alkaa sen jäädytys. Jäädytystunneli on noin 15 metriä pitkä ja noin 3 metriä korkea ja levyn jäähtyminen tapahtuu siinä. Tämän jäädytyksen yhteydessä menee suuri määrä potentiaalista ja hyödyntämiskelpoista ylijäämälämpöä hukkaan, mikä koetaan ongelmana, johon halutaan saada ratkaisu.

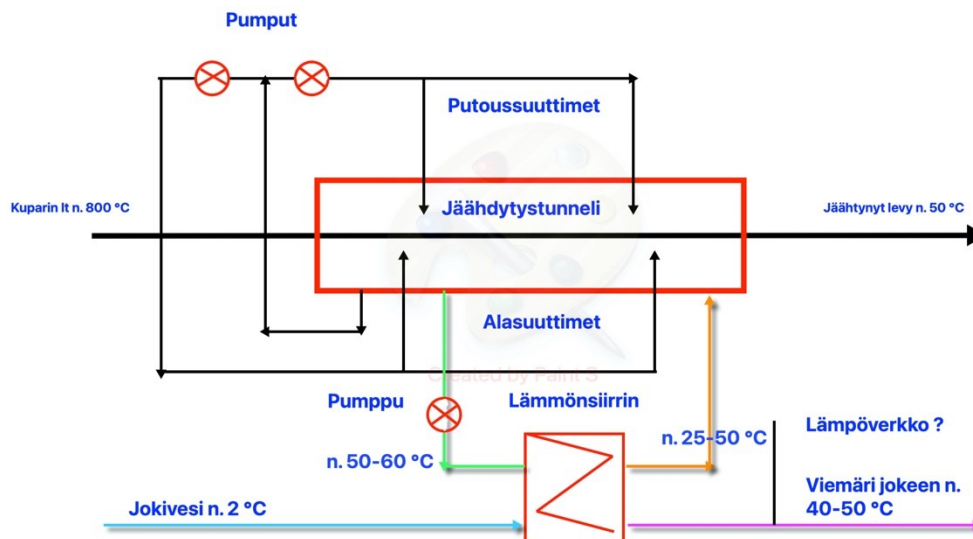
Noin 25-50 °C lämpöistä jäädytysvettä ajetaan kahden eri pumpun kautta yläpuolella oleviin putoussuuttimiin ja alapuolella oleviin alasuuttimiin. Suihkutettu jäädytysvesi valuu jäädytystunnelin alaosassa olevaan altaaseen, jonka tilavuus on 22 m<sup>3</sup>. Jäädytysaltaaseen lisätään vettä myös suoraan joesta, jotta altaan pinnankorkeus pysyy vaaditulla tasolla. Vettä lisätään altaaseen, koska altaasta haihtuu vettä vesihöyryn muodossa korkean lämpötilan takia. Altaan pinnankorkeutta mittaa pinnankorkeusmittari, johon on yhteydessä magneettiventtiili, joka avautuu vedenpinnan laskiessa niin, että veden määrä pysyy oikeana.

Altaaseen valunut kuuma vesi ajetaan jäädytysaltaan kuumasta päästä yhdellä putkella, lämpöventtiilien ja painemittarien kautta kahden rinnankytketyn pumpun avulla lämmönsiirtimelle. Rinnankytketyt pumput toimivat yksi kerrallaan ja toinen pumppu on aina valmiina käyttöön, toisen pumpun ollessa huollossa tai epäkunnossa. Ennen lämmönsiirintä on separaattori, jolla saadaan putsattua ylimääräiset epäpuhtaudet, kuten muta pois jäädytysvedestä. Erotettu aines johdetaan erilliseen mutakipperiin.

Ennen lämmönsiirintä kuumaan jäädytysveteen sekoitetaan joesta johdettua jokivettä ja prosessiin palautetaan takaisin noin 25-50 °C lämpöistä jäädytysvettä. Prosessiin palautettava jäädytysvesi on lähes saman lämpöistä kuin levy, joka on jäädytetty. Palautettavan jäädytysveden lisäksi lämmönsiirtimestä pumpataan huomattava määrä lämpöenergiaa sisältävää ylijäämävettä takaisin jokeen ilman lämmön talteenottoa. Jokeen palaavan jäädytysveden lämpötila vaihtelee keskimäärin 40-50 °C:n välillä.

Lämmönsiirtimen ja jokeen johtavan viemärin väliin olisi tarkoitus saada lämmön talteenottojärjestelmän avulla ratkaisu, jotta hukkaan menevä lämpö voitaisiin palauttaa lämpöverkon kautta takaisin prosessiin ja parantaa energiatehokkuutta.

Lämmön talteenottojärjestelmiä on monenlaisia ja kyseiseen skenaarioon olisi tarkoitus löytää sopivin ja kannattavin.



Kuva 3. Yksinkertaistettu kuva jäähdytysprosessista.

Vihreän putkilinjan eli jäähdytystunnelista lämmönsiirtimelle palaavan jäähdytysveden lämpötiloja esittää kuva 8, josta voidaan todeta, että tuotannon ollessa käynnissä, lämpötilat vaihtelevat tyypillisesti 50-60 °C:n välillä. Keskellä päivää on ollut tuotannossa katkos, jolloin lämpötila on käynyt hetkellisesti 10 °C:ssa.

Oranssi putkilinja esittää lämmönsiirtimeltä jäähdytystunneliin menevää putkilinjaa. Putkilinjan lämpötiloja esittää kuva 7, josta nähdään, että tuotannon aikana lämpötilat vaihtelevat tasaisesti 25-50 °C:n välillä. Jäähdytystunneliin menevän veden lämpötila pyritään pitämään noin 25-50 °C:ssa.

Sininen putkilinja esittää joesta lämmönsiirtimelle menevää putkilinjaa. Kuvasta 6 huomataan, että joesta tuleva vesi on hyvin kylmää, koska mittaustulokset ovat helmikuulta. Lämpötila siis vaihtelee siis vuodenajan mukaan ja talvella vesi voi olla reilusti viileämpää kuin kesällä. Kesällä virtaaman tarve on suurempi kuin talvella, koska vesi on lämpimämpää. Helmikuussa lämpötilat ovat olleet 2 °C:n molemmin puolin.



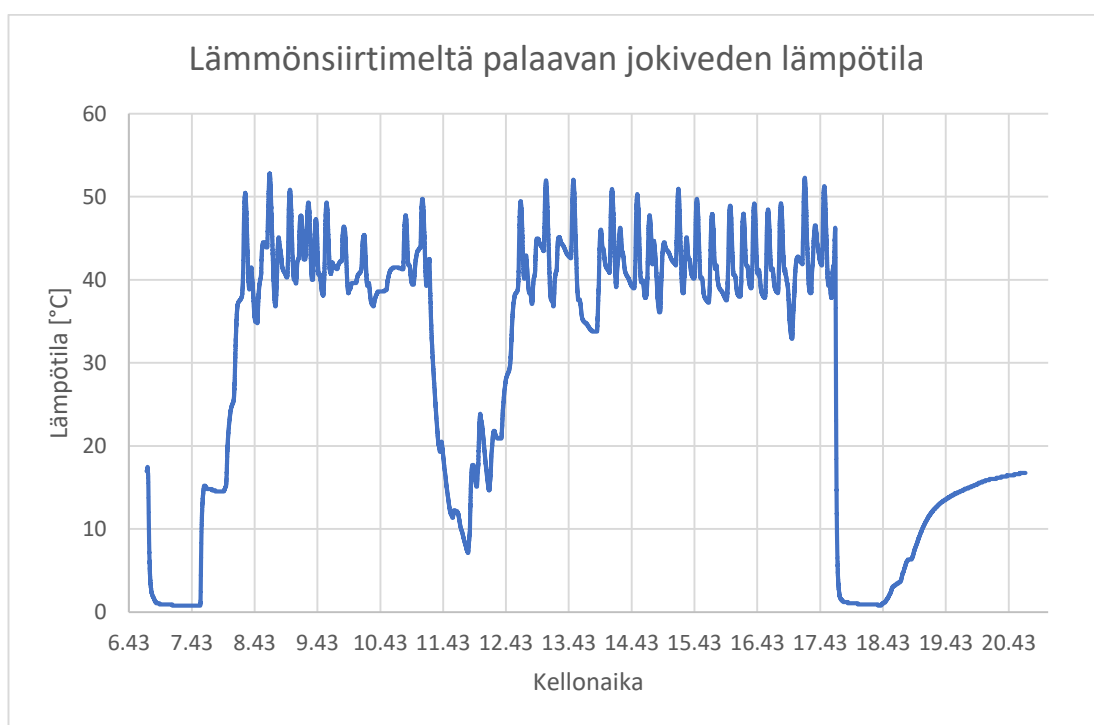
Pinkki putkilinja esittää lämmönsiirtimeltä viemärin kautta jokeen palaavan jäähdytysveden putkilinjaa. Kuvasta 5 nähdään, että tuotannon ollessa käynnissä, lämpötilat pysyvät melko tasaisesti 40-50 °C:n välillä. Keskellä päivää on ollut tuotantokatkos, jolloin lämpötila on käynyt 10 °C:ssa. Kyseisen putkilinjan mukana hukkaan menevää hyödyntämiskelpoista jäähdytysvettä olisi tavoitteena pystyä hyödyntämään lämmön talteenoton avulla.



Kuva 4. Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamon jäähdytystunnelin lämmönsiirrin Alfa Laval M15-BFM8.

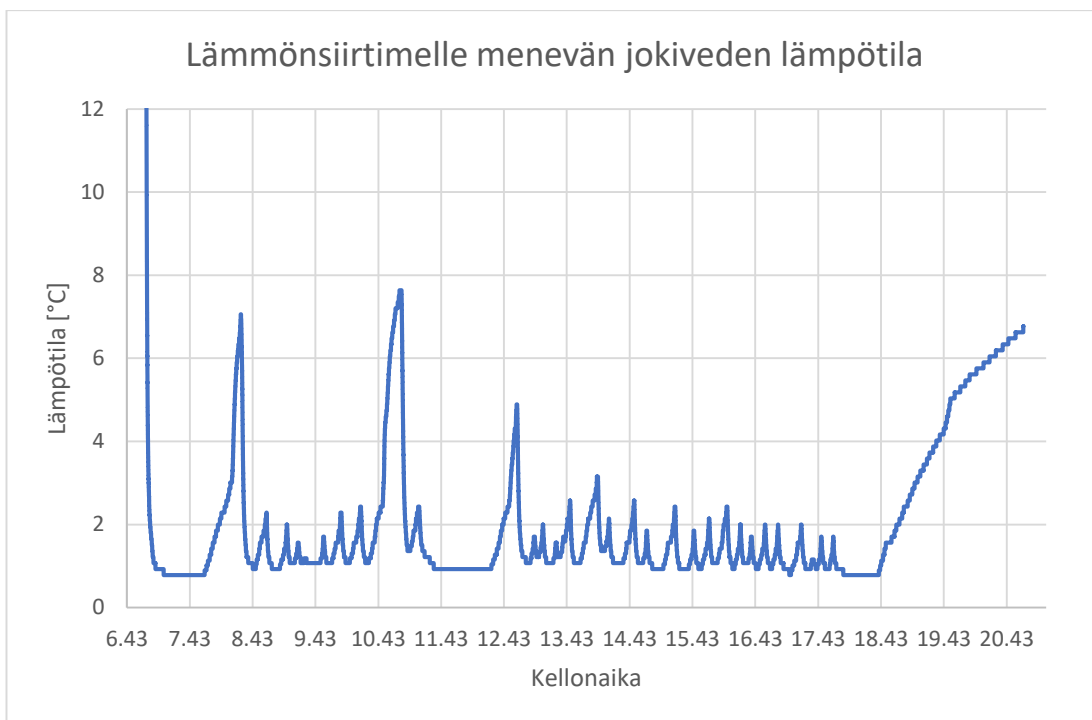
#### 4.2 Jäähdytystunnelin vesivirtojen lämpötiloja

Jäähdytystunnelin vesivirtojen lämpötilat pysyivät melko tasaisina viikon mittausjakson aikana, lukuun ottamatta tuotannon katkoksia. Alla olevat kuvaajat on siis tehty yhden päivän ajalta, koska eri päivien välillä viikon aikana ei ollut suuria vaihteluita. Kuvaaja ovat päivämäärältä 8.2.2021. Tuotanto on käynnistynyt aamulla klo 7.00 jälkeen ja loppunut klo 21.00. Kuvasta 8 selviää, että jäähdytystunnelista lämmönsiirtimelle palaava jäähdytysvesi on koko ajan lämpimämpää kuin kuva 7:sta ilmenevä lämmönsiirtimeltä lähtevä jäähdytysvesi.

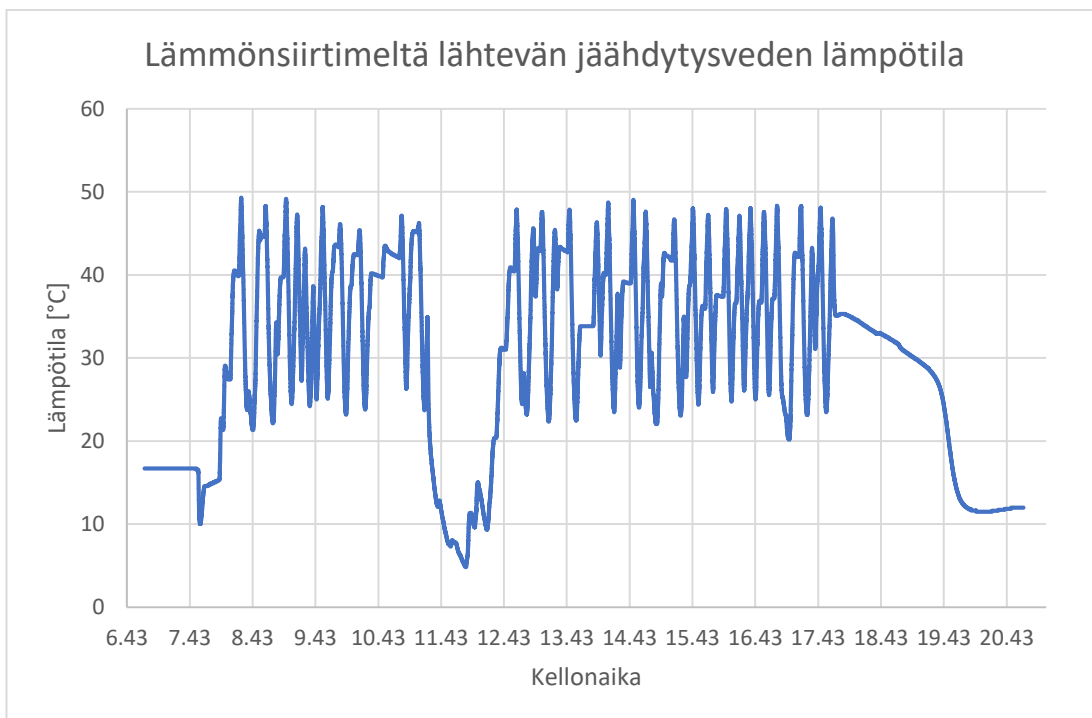


Kuva 5. Lämmönsiirtimeltä jokeen palaavan veden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021).

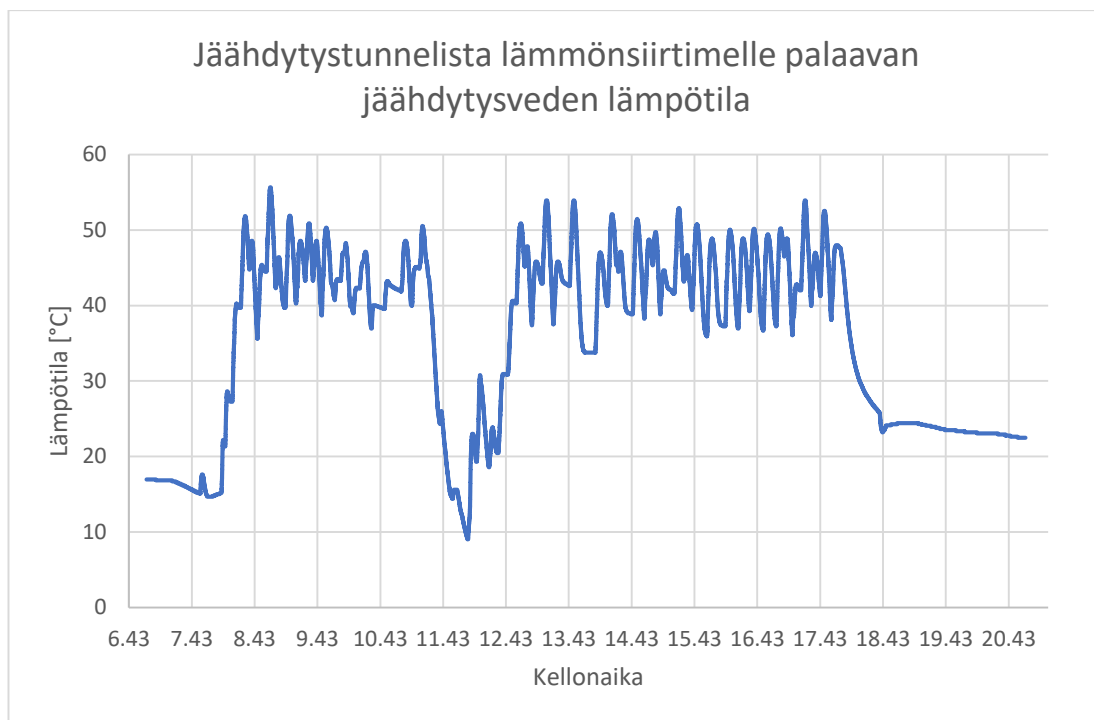




Kuva 6. Lämmönsiirtimelle menevän jokiveden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021).



Kuva 7. Lämmönsiirtimeltä lähtevän jäähdytysveden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021).



Kuva 8. Jäähdytystunnelista lämmönsiirtimelle palaavan veden lämpötilat 8.2.2021. (Rahola, 2021).

## 5 LÄMMÖN TALTEENOTTO

Tässä luvussa kerrotaan yleisesti mistä lämmön talteenotossa on kyse ja sen toiminnasta. Luvussa kerrotaan lyhyesti lämmönsiirtimistä lämmön talteenotossa ja tarkastellaan enemmän eri lämpöpumpputyyppejä lämmön talteenotossa. Luvun lopussa oleva taulukko 1 esittää eri lämpöpumppujen ominaisuuksia ja niiden yleisimpiä sovelluksia.

### 5.1 Yleistä lämmön talteenotosta

Ensisijaista energiatehokkuuden tehostamisessa, on pystyvä minimoimaan energiankulutus sekä syntyvät häviöt itse prosessissa. Tämän prosessin optimoinnin jälkeen voidaan energiatehokkuutta parantaa mahdollisesti lämmön talteenoton avulla. Etenkin teollisuudessa on lämmön talteenotolla suuret hyödyntämismahdollisuudet, koska prosessien aikana syntyy paljon hukkaan menevää energiaa, joka olisi mahdollista hyödyntää lämmön talteenoton avulla. (Motiva Oy, 2002.)

Suurimmat lämpöhäviöt syntyvät prosessien poistohöyryistä, prosessi- ja savukaasuista, jäähdytys- ja jätevesistä, kuivureiden poistokaasuista sekä koneellisen jäähdytyksen aiheuttamasta lauhdelämmöstä. Talteen otettavaa energiaa hyödynnetään yleisesti uudelleen itse prosesseissa tai joissain tapauksissa voidaan myydä energiaa takaisin verkkoon. (Motiva Oy, 2013.)

Lämmön talteenottojärjestelmällä on tiettyjä edellytyksiä, joita se vaatii toimiakseen kannattavasti. Lämmön talteenottoa puoltaa korkean lämpötilan virtaamat ilman tai nesteen muodossa. Esimerkiksi noin 100 °C ja sitä korkeamman lämpötilan virtaukset ovat helposti hyödynnettävissä. Puolestaan jos virtausten lämpötilat laskevat alle 80 °C lämpötilan, alkaa niiden hyödyntäminen olla hankalaa ja se saattaa vaatia lisäinvestointeja esimerkiksi lämpöpumpun muodossa, jotta saadaan lämpötila riittävän korkeaksi. Lämmön talteenoton kannattavuus riippuu myös hyödyntämiskohteista ja sen suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon ajalliset ja maantieteelliset mahdollisuudet, jotta järjestelmästä saadaan mahdollisimman tehokas. (Motiva Oy, 2002.)

Lämmön talteenottoa voidaan hyödyntää karkeasti katsottuna kolmella eri menetelmällä. Saatavaa lämpöä voidaan hyödyntää joko suoraan tai lämpöpumpun avulla. Jos virtaaman lämpötila on liian alhainen, se vaatii puolestaan sen nostamista tai monivaiheisella menetelmällä, jossa hyödynnetään useampaa eri teknologiaa. (Motiva Oy, 2002.)

## 5.2 Lämmönsiirtimet lämmön talteenotossa

Prosesseissa ja voimalaitoksissa voidaan siirtää lämpöä erilaisten lämmönsiirrinten avulla. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan, jotka ovat levylämmönsiirtimet, putkilämmönsiirtimet ja spiraalilämmönsiirtimet. Lämmönsiirrin tulee valita prosessiolosuhteiden ja -vaatimusten mukaan, joita ovat esimerkiksi virtaavan fluidin eli nesteen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Muita vaatimuksia, jotka tulee ottaa huomioon lämmönsiirrintä valittaessa ovat fluidin viskositeetti, korroosio-ominaisuudet, likaantumistaipumukset ja muut

virtausominaisuudet. Yleisesti ottaen virtaavan nesteen virtausnopeus on lämmönsiirtimen sisällä noin 1-4 m/s luokkaa ja kaasun virtausnopeus on korkeampi, noin 10-20 m/s. (Hannelius 2018.)

### 5.3 Lämpöpumppujen hyödyntäminen lämmön talteenotossa

Lämpöpumppujen avulla pystytään hyödyntämään matalalämpöisiä hukkalämpövirtoja, kuten esimerkiksi jäähdytysvesiä. Lämpöpumppu nostaa matalalämpöisen lämpövirran lämpötilaa riittävän korkeaksi, jotta se sopii hyödynnettäväksi kaukolämpöverkossa. Kaukolämpöverkon kautta lämpöä voidaan hyödyntää vaikka omissa prosesseissa tai kiinteistön lämmityksessä. (Motiva Oy, 2013.)

Lämpöpumppuinvestointi edellyttää riittävän suuren hukkalämpölähteen, josta syntyy tasaisesti ylijäämälämpöä. Tässä tapauksessa prosessin jäähdytysvesi voidaan lukea sellaiseksi. Lämpöpumpun toiminta on parhaimmillaan, kun lämpötilan muutokset ovat prosessissa pieniä. Yleisesti ottaen tehtaiden hukkalämpövirrat ovat alle 55 °C ja näihin tapauksiin lämpöpumput sopivat parhaiten. Lämpöpumppu pystyy tarvittaessa hyödyntämään myös 10 °C lämpövirtoja. (Motiva Oy, 2013.)

## 5.4 Lämpöpumpputyypin ominaisuuksia

Taulukko 1. Lämpöpumpputyypin ominaisuuksia. (Maaskola &amp; Kataikko 2014, 20).

	Mekaaninen lämpöpumppu	Absorptio-lämpöpumppu	Absorptio-lt:n muunnin	Höyryn komprimointi	Termo-kompressori
<b>Käyttöenergia</b>	sähkö	kuuma vesi tai höyry	lämpö	sähkö	höyry
<b>Max. luovutus-lt.</b>	95 (120) °C	95 °C	150 °C	200 °C	180 °C
<b>Lämpötilan nosto</b>	20–90 °C	30–65 °C	30–50 °C	5–30 °C	5–20 °C
<b>Max. teho</b>	Lähes rajoittamaton sarjaan kytketyillä järjestelmillä	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton
<b>COP</b>	2,6–7,5	1,5–1,7	0,4–0,5	3–30	1,5–5
<b>Kiertoaaine</b>	halogenoidut hiilivedyt, ammoniakki, hiilivedyt, CO <sub>2</sub>	vesi/litium-bromidi, ammoniakki/vesi	vesi/litium-bromidi	vesihöyry, hiilivetyhöyry	vesihöyry
<b>Osakuorma-ominaisuudet</b>	+	++	++	+	+/-
<b>Investointi</b>	-	-	-	+/-	+
<b>Sisäinen korroosioherkk.</b>	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava	seurattava
<b>Sisäinen likaantuminen</b>	ei esiinny	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava
<b>Melu</b>	+/-	++	++	+/-	--
<b>Edut</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• luotettava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• luotettava, yksinkertainen</li> <li>• vähän ylläpitoa</li> <li>• säädettävyys</li> <li>• 0 -100 %</li> <li>• kestävyys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• yksinkertainen</li> <li>• vähän ylläpitoa</li> <li>• säädettävyys</li> <li>• kestävyys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pieni lämmönsiirto-pinta-ala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• yksinkertainen</li> <li>• edullinen</li> <li>• ei liikkuvia osia</li> <li>• ei likaantumisongelmia</li> </ul>
<b>Haitat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ei sovi korkeille lämpötiloille</li> <li>• nopea käynnistys</li> <li>• 0→100 % ~2 min</li> <li>• säädettävyys haastavissa mitoitusolosuhteissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala</li> <li>• suhteellisen hidas käynnistys</li> <li>• 0 →100 % ~ 10 min</li> <li>• tyhjän varmistus</li> <li>• tarvitaan kerran viikossa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala</li> <li>• hidas käynnistys</li> <li>• suuri tarvittava ylijäämälämpövirtaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pieni dT</li> <li>• sopii vain tietyille höyryille</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pieni dT</li> <li>• vain tietyille höyryille</li> <li>• melu</li> </ul>
<b>Yleisimmät sovellukset</b>	lämmitys kuivaus	lämmön talteenotto	erikoiskohteet	höyrystys tislauk	höyrystys tislauk

Taulukon 1 perusteella voidaan todeta, että lämpöpumppuvaihtoehdoista parhaiten kyseiseen kohteeseen sopisi mekaaninen lämpöpumppu tai absorptiolämpöpumppu. Molemmat lämpöpumput soveltuvat hyvin jäähdytysvesien sisältämän ylijäämälämmön hyödyntämiseen. COP:lla tarkoitetaan lämpökerrointa.

## 6 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa kerrotaan kohteeseen suoritetusta aiemmasta esiselvityksestä energiatehokkuuden parantamiseksi. Luvussa esitetään myös laskelmat veteen sitoutuvasta lämpötehosta ja verrataan sitä aiemman esiselvityksen laskemaan. Lisäksi vertaillaan kahta eri lämpöpumpputyyppeä tarkemmin ja tehdään valinta kumpi sopisi kohteeseen paremmin.

### 6.1 LeaseGreen – Energiatehokkuutta elinkaaripalveluna esiselvitys

LeaseGreen Group Oy suoritti vuoden 2017 lopussa esiselvityksen Aurubis Finland Oy:n energiatehokkuuden parantamiseksi. Esiselvityksessä tarkastelun kohteena olivat Aurubis Finland Oy:n olosuhteita parantavat ja kiinteistön elinkaarta pidentävät toimenpide-ehdotukset.

”LeaseGreen on Suomen johtava suurten kiinteistöjen energiankäytön tehostamiseen ja älykkäisiin ratkaisuihin erikoistunut Cleantech-palveluyritys. Toteutamme elinkaarikustannusten, markkina-arvon ja hiilijalanjäljen kannalta optimaalisen kokonaisuuden asiakkaidemme kiinteistökantaan” (LeaseGreen Group Oy, 2021).

Esiselvityksessä tarkasteltiin Aurubis Finland Oy:n valssaamon ja valimon ilmanvaihtoa ja lämmitystä energiatehokkuuden näkökulmasta. Valssaamon toimenpide-ehdotuksena oli jäähdytystunnelin jäähdytysvesien lämmön talteenotto ja valimon oli palamisilmojen esilämmitys.

Valssaamon aihoiden jäähdytys (750-50 °C) on toteutettu vedellä, josta voidaan ottaa lämpöä talteen. Veteen sitoutuva lämpöteho on laskennallisesti noin 800 kW, tuotannon ollessa 11 t/h eli 4000 h/a tuotannolla 3200 MWh/a. Veden matalasta lämpötilatasosta johtuen lämpö on hyödynnettävissä ainoastaan lämpöpumpulla kaukolämmön korvaamiseen. Hyödynnettävää lämpöä saadaan hyödyksi vain, kun tuotanto on käynnissä. (LeaseGreen Group Oy, 2017.)

Veteen sitoutuva lämpöenergia on laskettu kaavalla:

$$Q = c * m * \Delta t$$

$Q$  = lämpömäärä [kJ]

$c$  = kuparin ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg \* °C)]

$m$  = massa [kg]

$\Delta t = t_{\text{loppu}} - t_{\text{alku}} =$  lämpötilan muutos [°C]

$$Q = 0,385 \text{ kJ/(kg * °C)} * 11\,000 \text{ kg} * (750 \text{ °C} - 50 \text{ °C})$$

$$Q = 2\,964\,500 \text{ kJ}$$

Teho saadaan, kun jaetaan saatu lämpömäärä sekunneilla tunnissa eli:

$$2\,964\,500 \text{ kJ} / 3\,600 \text{ s} = 824 \text{ kW}$$

$$0,82 \text{ MW} * 4000 \text{ h/a} = 3\,280 \text{ MWh/a}$$

Vuonna 2017 LeaseGreen arvioi valssaamon vuosittaisiksi lämmityskuluiksi 103 994 €/a ja muutoksen jälkeen kulut olisivat 87 158 €/a, joten säästöä tulisi vuositasolla 16 836 €/a. (1 793 MWh \* kaukolämmön hinta 58 €/MWh = 103 994 €/a) Valimon vuosittaiseksi säästökseen on arvioitu muutoksen jälkeen 30 645 €/a. Näiden lisäksi Valimoon asennettavan palamisilman esilämmittimen ja jälkipolttimen ja valssaamon jäähdytysvesien lämmön talteenoton myötä vuosittaisen kokonaishyödyn LeaseGreen arvioi olevan jopa 168 689 €/a. Säästöt muodostuvat huomattavasti vähentyvän ostoenergian tarpeen ja säästettävän lämmitysenergian seurauksena. Rahallisten säästöjen lisäksi työskentelyolosuhteet parantuvat ja tuotanto-olosuhteet stabilisoituvat sekä kiinteistön elinkaari pitenee. (LeaseGreen Group Oy, 2017)

Veteen sitoutuva lämpöenergia on nykyisillä jäähdytystunnelin arvoilla:

$$Q = 0,385 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 40\,000 \text{ kg} \cdot (800^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$Q = 11\,550\,000 \text{ kJ}$$

Teho saadaan, kun jaetaan saatu lämpömäärä sekunneilla tunnissa eli:

$$11\,550\,000 \text{ kJ} / 3\,600 \text{ s} = 3\,208 \text{ kW}$$

$$3,2 \text{ MW} \cdot 4\,000 \text{ h/a} = 12\,800 \text{ MWh/a}$$

Nykyisillä arvoilla veteen sitoutuvaa lämpötehoa laskettaessa huomataan, että lämpöteho on huomattavasti suurempi aiempaan nähden. Syynä korkeampaan lämpötehoon on kuparilevyn korkeampi alkulämpötila ja isoimpana tuotantomäärän kasvu. Aiemmin tuotantomäärä oli 11 t/h, kun nykyään se on vastaavasti 40 t/h.

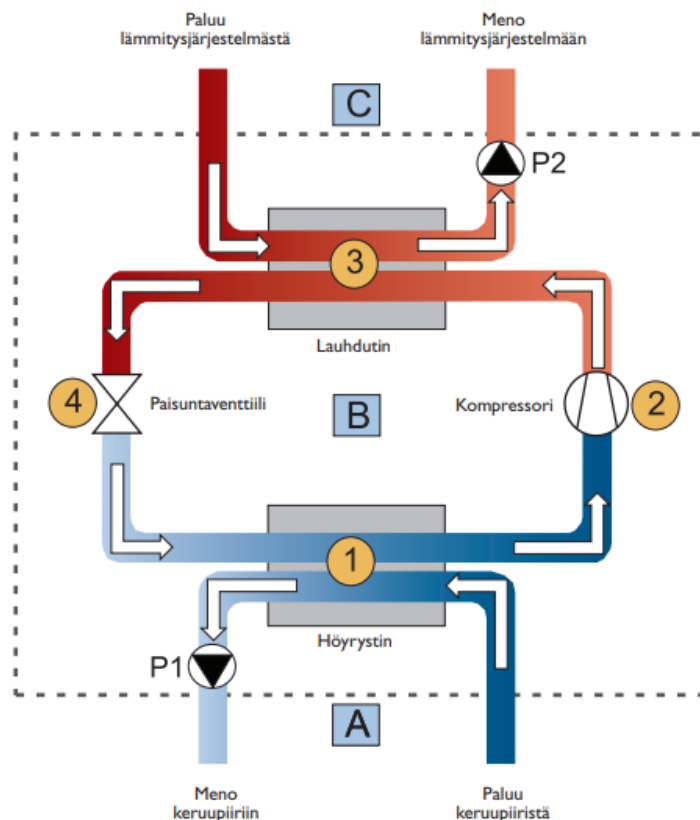
## 6.2 Mekaaninen lämpöpumppu

Yleisimpiä käyttökohteita mekaanisille lämpöpumpuille ovat muun muassa prosessinesteiden ja ilman lämmitys sekä puutavaran kuivaaminen. Erinomainen käyttökohde on myös prosessien ylijäämälämpövirtojen hyödyntäminen kaukolämmityksessä. Mekaanisen lämpöpumpun COP-arvot vaihtelevat 2,5-7,5 välillä, joten ne vaihtelevat enemmän kuin esimerkiksi absorptiolämpöpumpuissa. (Motiva Oy, 2013.)

Mekaanisten lämpöpumppujen avulla voidaan hyödyntää tarvittaessa alle 10 °C:n lämpöä, parhaimmillaan noin 2,5 COP-arvolla. Rajoittavana tekijänä on kuitenkin sen huonot säätöominaisuudet, sillä se toimii on/off -periaatteella. Säätöominaisuuksien parantamiseksi voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön säädettäviä johtosiipiä ja taajuusmuuntaja. Toinen säätöominaisuuksien hyvä parannuskeino on usean pienempitehoisen lämpöpumpun rinnankytkentä, joka lisää säädettävyyttä käytössä. (Motiva Oy, 2013.)



Mekaanisen lämpöpumpun toiminta on samankaltainen kuin kylmäkoneiden toiminta, mutta nimensä mukaisesti tuotto on päinvastainen eli se tuottaa lämpöä kylmän sijaan. Lämpöpumppu kerää lämpöä veteen tai maahan asennettavan putkiston avulla. Putkistossa lämmennyt neste ohjataan höyrystimeen, jossa kiertää kylmäaine, joka höyrystyy ja samalla sitoo lämpöä lämmönlähteeltä, esimerkiksi jäähdytysvedeltä, mikä taas jäähdyttää nestettä. Kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, mikä saa höyryn lämpenemään. Saatava höyry kulkeutuu lauhtuttimeen ja lauhtuessaan höyry luovuttaa lämpönsä siellä kiertävään veteen. Lauhduttimesta nestemäinen kylmäaine kiertää paisuntaventtiiliin, josta se jatkaa jälleen höyrystimelle. (Hakala & Kaappola 2013, 230.)



Kuva 9. Mekaanisen lämpöpumpun toimintaperiaate. (Juvonen 2009, 11).

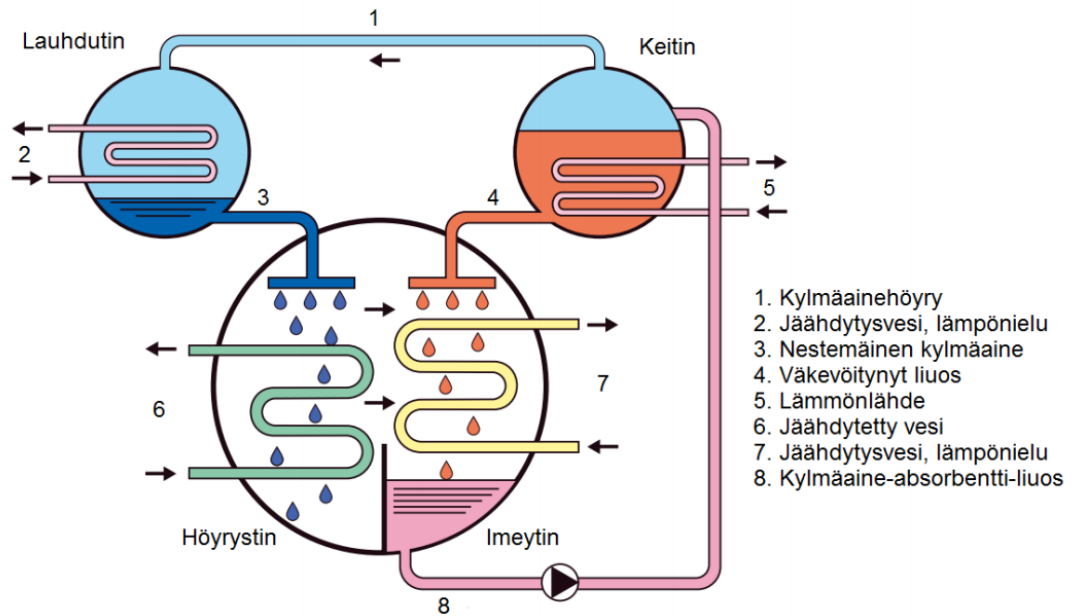
### 6.3 Absorptiolämpöpumppu

Absorptiolaitteita käytetään yleisesti jäähdytyksessä. Absorptiolämpöpumpuilla ja lämpötilan muuntimilla on kuitenkin houkuttelevia ominaisuuksia myös lämpöpumppukäytössä, kun lämpötilaa nostetaan. (Maaskola & Kataikko 2014, 18.)

Jäähdytysvesien ja kuuman höyryn hyödyntämiseen soveltuvat parhaiten absorptiolämpöpumput. Absorptiolämpöpumppu soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa on käytössä edullista ja kuumaa lämpöenergiaa, kuten vettä tai höyryä. Pumppu soveltuu hyvin lämmön talteenottoon sekä lämpötilojen nostamiseen ja laskemiseen. Absorptiolämpöpumppujen avulla voidaan luotettavasti nostaa lämpötilaa jopa yli 80 °C ja niiden tehoa pystytään säätämään portaattomasti, mikä tekee sen säädettävyydestä helppoa. Pumput ovat yleisesti kestäviä ja ne eivät vaadi suurempia huoltotoimenpiteitä. Absorptiolämpöpumppujen COP-arvot vaihtelevat 1,5-1,8 välillä. COP tarkoittaa lämpökerrointa, jota käytetään lämpöpumppujen tehokkuuden mittayksikkönä. Se ilmoittaa lämpöpumpun käytöstä saadun lämpöenergian suhteen sen tarvitseman käyttöenergian määrään. (Motiva Oy, 2013.)

Absorptiolämpöpumppujen ominaiskustannukset vaihtelevat tyyppillisesti 70-100 € välillä tuotettua kilowattia kohden. Investoinnissa pumppu ja sen kytkentäratkaisujen hinta riippuu itse kohteesta. Laitteiston osuus koko investoinnista on pääsääntöisesti suurin. Lämpöpumppuratkaisujen takaisinmaksuaika on tavallisesti ollut noin 5 vuotta. (Motiva Oy, 2013)

Yksinkertaisessa absorptiolämpöpumpussa on neljä eri lämmönsiirrintä: lauhdutin, keitin, imeytin ja höyrystin. Lämpöpumppuun kuuluvat myös kaksi paisuntaventtiiliä sekä liuospumppu. Joissain tapauksissa, voidaan imeyttimen ja keittimen välille asentaa vielä liuoslämmönsiirrin, jonka avulla pyritään parantamaan lämpöpumpun energiatehokkuutta. Kuvassa 10 on kuvattu yksinkertaisen absorptiolämpöpumpun toimintaa. Siinä ulkoisen lämmönlähteen, tässä tapauksessa jäähdytysveden avulla höyrystetään keittimessä olevaa liuosta. Jos liuoksen kuvitellaan olevan esimerkiksi ammoniakki-vesi -liuos, niin ammoniakki höyrystetään vedestä ja ohjataan lauhduttimeen. Lauhduttimessa ammoniakki vapauttaa siihen sitoutuneen höyrystymislämmön joko veteen tai ilmaan.



Kuva 10. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate. (Sadeharju 2014, 86).

#### 6.4 Lämpöpumpputyypin valinta

Lämpöpumppujen tarkempaan vertailuun valittiin mekaaninen lämpöpumppu ja absorptiolämpöpumppu. Kyseiset pumput soveltuvat hyvin teollisuudessa syntyvän hukkalämmön hyödyntämiseen, tässä tapauksessa jäähdytysveden hyödyntämiseen. Mekaanisen lämpöpumpun hyviä ominaisuuksia ovat matalien lämmönlähteiden hyödynnettävyys ja toimintavarmuus. Lisäksi sen hyötysuhde on parempi kuin absorptiolämpöpumpun. Huonot puolet verrattuna absorptiolämpöpumppuun ovat pumpun huono säädettävyys ja suurempi sähkön kulutus. Absorptiolämpöpumpun valinnan puolesta puhuvat sen säädettävyys, kestävyys ja vähäinen huollon tarve. Sähkön kulutus on myös pienempi, kuten tuli aiemmin ilmi. Miinuksena on heikompi hyötysuhde ja hitaampi käynnistys. (Maaskola & Kataikko 2014, 20–21.)

Mekaanisia lämpöpumppuja käytetään teollisuudessa huomattavasti laajemmin kuin absorptiolämpöpumppuja ja ne tarjoavat enemmän erilaisia ratkaisumalleja aiemmista toteutuksista. Absorptiolämpöpumput ovat vielä melko harvinaisia teollisuudessa ja ne vaativat pitkälti kohdekohtaista suunnittelua. Absorptiolämpöpumppu vaatii myös ylimääräisen lämmönlähteen sen keittimelle, joka vaatii lisäsuunnittelua entisestään.

Näistä edellä mainituista syistä johtuen, olisi mekaaninen lämpöpumppu parempi vaihtoehto. Molemmat lämpöpumppuratkaisut tulisivat todennäköisesti vaatimaan erillisen rakennuksen hallin ulkopuolelle tilan tarpeen vuoksi, joten valinnalla ei olisi siihen vaikutusta.

## 7 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISKOHTEET

Teollisuuden hukkalämpö on väistämättä syntyvä tuote, jota voidaan hyödyntää taloudellisesti ainakin kolmella eri tavalla. Lämpöä voidaan hyödyntää lähikiinteistöissä, kaukolämpöön ohjaten tai oman kiinteistön lämmityksessä. (Calefa Oy, 2015.)

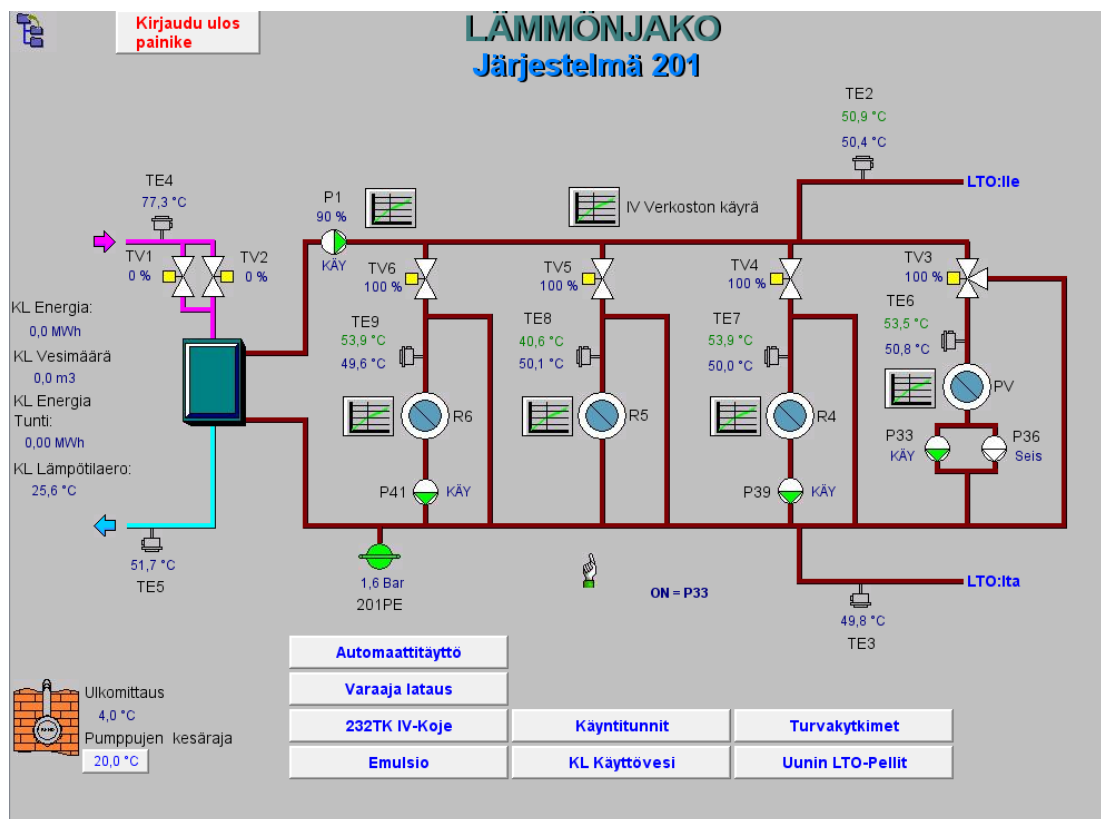
### 7.1 Käyttökohteiden kartoittaminen

Lämmön talteenottojärjestelmän suunnittelussa tulee alusta asti ottaa huomioon siitä saatavan lämpöenergian mahdolliset hyödyntämiskohteet. Hyvällä suunnittelulla saadaan investoinnista tehokas ja mutkattomampi toimenpide. Mahdollisten lämpöenergian hyödyntämiskohteiden kartoittaminen kannattaa aloittaa ensin oman kiinteistön mahdollisista lämpötarpeista. Ylijäämälämmön hyödyntäminen omassa kiinteistössä vähentää syntyviä lämpöhäviöitä ja saadaan lämmön talteenotosta energia- ja kustannustehokkaampaa. Mitä kauempana mahdollinen hyödyntämiskohde sijaitsee, sitä enemmän pääsee hyödynnettävää lämpöä hukkaan ja käyttö- ja investointikustannukset kasvavat. Lämmön varastointi ei ole kovinkaan kannattavaa varsinkaan matalissa lämpövirroissa, koska sen varastoiminen on hankalaa ja samalla kannattamatonta sen hyötyyn nähden. Lämmön talteenoton hyödyntämisessä kannattavinta ja tehokkainta on pyrkiä samanaikaisuuteen saatavan lämmön ja hyödyntävän kohteen välillä. (Motiva Oy, 2013.)

Käyttökohteita kartoitettaessa ilmeni, että Aurubis Finland Oy:n kannalta mieleisin ratkaisu olisi lämpöpumppujärjestelmä jäähdytysveden lämpötilan nostamista varten.

Lämmitettyä jäähdytysvettä voitaisiin hyödyntää kuparivalssaamon omassa lämpöverkossa, josta sitä voitaisiin käyttää helposti halutussa kohteessa.

Kuvassa 11 on esitettyä kuparivalssaamon lämmönjakojärjestelmä. Pinkki linja kuvaa Pori Energialta tulevaa kaukolämpölinjaa, josta valssaamo ottaa kaukolämpöä vastaan, kun siihen on tarvetta. Kuvassa putkilinjan venttiilit ovat kiinni ja kaukolämpöä ei oteta vastaan. Turkoosi linja puolestaan kuvaa Pori Energialle palaavaa kaukolämpölinjaa. Tummanpunainen/ruskea linja kuvaa kuparivalssaamon omaa lämpöverkkoa. Lämpöverkkoon kuuluu eri lämmityspiirejä, joihin lämpöä voidaan ohjata erikseen. Jokaisella piirillä on oma pumppu, jonka kautta lämpöä voidaan siirtää. Piireihin kuuluvat kaikki valssaamon lämmitystä tarvitsevat kohteet. Kohteita ovat esimerkiksi eri koneet, toimistotilat, pukuhuoneet ja lämmin käyttövesi.



Kuva 11. Kuparivalssaamon lämmönjako. (Myllyharju 2021).

## 7.2 Kaukolämmön kulutus ja siirto

Tässä luvussa esitetään taulukoiden avulla valsaamon ja valimon kaukolämmön kulutusta ja siirtoa. Taulukoissa 2 ja 3 esitetään kaukolämmön kulutusta ja taulukossa 4 puolestaan kaukolämmön siirtoa valimosta Pori Energialle. Taulukoiden lukujen yksikkönä käytetään megawattituntia.

Taulukko 2. Kaukolämmön kulutus valsaamossa 1.1.2019-28.2.2021 (Valkeejärvi 2021).

kk	2019	2020	2021
1	344,16	193,36	284,87
2	226,32	172,21	305,87
3	245,08	227,69	
4	155,14	190,16	
5	111,37	155,43	
6	30,08	50,09	
7	26,47	61,38	
8	40,96	41,51	
9	82	90,47	
10	130,04	149,63	
11	189,48	169,89	
12	222,99	255,47	
<b>keskiarvo</b>	<b>150 MWh</b>	<b>146 MWh</b>	<b>295 MWh</b>

Taulukko 3. Kaukolämmön kulutus valimossa 1.1.2019-28.2.2021. (Valkeejärvi 2021).

Kk	2019	2020	2021
1	505,39	315,6	389,47
2	375,7	335,34	442,77
3	432,22	349,09	
4	275,56	279,35	
5	199,99	211,61	
6	60,97	39,33	
7	69,02	57,30	
8	64,99	56,94	
9	173,37	90,72	
10	278,24	145,23	
11	409,8	263,11	
12	312,93	306,23	
<b>keskiarvo</b>	<b>263 MWh</b>	<b>204 MWh</b>	<b>416 MWh</b>

Taulukko 4. Kaukolämmön siirto Pori Energialle Aurubis Finland Oy:ltä. (valimo) 1.1.2019-28.2.2021 (Valkeejärvi 2021).

kk	2019	2020	2021
1	81,8	138,1	89,1
2	16	84,1	115,4
3	64,3	115,8	
4	163,7	117,6	
5	183,5	147,4	
6	175,6	189,6	
7	154,3	161,8	
8	165,0	162	
9	187,3	127,6	
10	124,7	202,5	
11	113,8	190,8	
12	28,5	105,6	
<b>keskiarvo</b>	<b>122 MWh</b>	<b>145 MWh</b>	<b>102 MWh</b>

### 7.3 Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko

Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon avulla voidaan mahdollistaa asiakkaan pientuotannon tehokas käyttäminen. Kaukolämmön kaksisuuntaisuuden johdosta, sen asiakkaat pystyvät toimimaan energiatehokkaammin lämmityksen ja päästöjen osalta. Samalla pystytään vastaamaan kaukolämpöyritysten kasvaviin kilpailukykyhaasteisiin. Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko tarkoittaa käytännössä, että verkon asiakas voi ostaa kaukolämpöä normaalisti, minkä lisäksi voi myös myydä omaa kaukolämpötuotantoaan tai esimerkiksi syntynyttä ylijäämälämpöä. (Sjöstedt 2016.)

Sitran ja Energiategollisuus ry:n tekemän raportin mukaan kysyntää riittää, kun puhutaan kaksisuuntaisesta kaukolämpöverkosta. Kaukolämpöverkon asiakkaita kiinnostaa kaksisuuntaistamisen mahdollisuudet kaukolämmön tuotteiden ja itse

verkkojen käytön kehityksessä. Asiakkaat näkevät kaksisuuntaisen kaukolämmön yhtenä ratkaisuna eri lämmöntuotantomuotojen yhdistämisessä. Kaksisuuntaisuus mahdollistaisi esimerkiksi teollisuuden jäähdytysvesien hukkalämmön siirtämistä kaukolämpöverkkoon tai omakotitalo tapauksissa aurinkokeräinten tuottaman lämmön siirtämistä verkkoon. Energiateollisuus ry:n asiantuntija Antti Kohopää toteaa raportissa, että mitään teknisiä esteitä kaksisuuntaiselle kaukolämmölle ei ole. (Sjöstedt 2016.)

Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon avulla voidaan siis kannattavasti yhdistää pientuotanto omaan kaukolämpöverkkoon, mutta kyseiset järjestelmät vaativat kuitenkin investointeja nykyisiin järjestelmiin. Vaivattominta kaksisuuntaisuuden käyttöönotto on uusilla alueilla sijaitsevilla uudiskohteissa. Vanhemmissa kohteissa, kuten vanhoissa teollisuuskiinteistöissä kaksisuuntaisen kaukolämpöjärjestelmien käyttöönotto vaatii enemmän muutoksia ja investointeja. Koko järjestelmän tärkein edellytys on sen molemminpuolinen hyöty ja kannattavuus, sekä asiakkaalle että kaukolämpöryitykselle. (Sjöstedt 2016.)

Suomessa kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon hyödyntäminen teollisuuden ja kaukolämpöyhtiöiden välillä on melko uusi juttu ja sen käyttö on vielä vähäistä. Vuonna 2012 ylijäämälämmön osuus koko kaukolämmön tuotannosta oli vain 2 prosenttia koko Suomessa. Nykyään ylijäämälämmön osuus on jo hieman suurempi, mutta sen koko potentiaalia ei olla vielä lähellekään ulosmitattu. (Motiva Oy, 2013.)

Aurubis Finland Oy:llä on tällä hetkellä sopimus kaukolämmön siirrosta Pori Energian kanssa. Valimossa syntyvää ylijäämälämpöä on siirretty kaukolämpönä Pori Energialle kahden viime vuoden aikana keskimäärin 133 MWh kuukaudessa, kuten taulukosta 4 huomataan. Kaukolämmön siirtoa tapahtuu tällä hetkellä siis ainoastaan valimosta eikä ollenkaan valssaamosta. Kaukolämmön siirto -vaihtoehtoa helpottaa huomattavasti jo voimassa oleva sopimus Pori Energian kanssa, eikä koko ratkaisua tarvitsisi uudelleen suunnitella.

Toisaalta kaikkea haluttua ylijäämälämpöä ei ole saatu aina siirrettyä Pori Energialle, koska toisinaan sillä ei ole ollut tarvetta ostaa kaikkea kaukolämpöä mitä olisi ollut tarjolla. Jos tullaan siihen tulokseen, että valssaamon jäähdytysveden ylijäämälämpöä



halutaan alkaa siirtämään kaukolämpönä Pori Energialle, on otettava selvää, että kuinka paljon Pori Energia on valmis ostamaan valssaamon siirrettävää kaukolämpöä valimon lisäksi. Kaukolämmön siirto -vaihtoehdon kannattavuutta määrittelee siis huomattavasti se, kuinka suuri osa ylijäämälämmöstä pystytään myymään.

#### 7.4 Hyödyntäminen omassa kiinteistössä

Kohteeseen ratkaisuksi parhaiten sopisi lämpöpumppujärjestelmä, jonka avulla jäähdytysveden lämpöä pystyttäisiin hyödyntämään kuparivalssaamon omassa lämpöverkossa. Lämpöpumppujärjestelmää varten on saatu karkeat arviot ja mitoitukset Kojja-Yhtiöt Oy:ltä ja NIBE Energy Systems Oy:ltä. Alla on myös käyty läpi vaihtoehtoinen lämminilmapuhallinjärjestelmä, jolla pystyttäisiin korvaamaan sisäilman lämmitykseen kuluvaa ostoenergian määrää.

##### 7.4.1 Lämpöpumppujärjestelmä

Kojalta saatiin arviot kahdelle eri vaihtoehdolle, jossa kummassakin on kolme lämpöpumppua. Lähtökohtana mitoituksessa on käytetty lämpöpumppulaitteelle tulevan jäähdytysveden lämpötilana 40 °C ja virtaamana noin 14 l/s. Tieto virtaamasta on saatu Aurubis Finland Oy:ltä ja se on mitoitettu talviajalle. Virtaus on kesällä suurempi pieni lämpötilaeron takia. Lämpöpumpun höyrystin ottaa lämpönsä suoraan jäähdytysvedestä.

#### 1. Jos luovutuspuolelta 75 °C vesi ulos

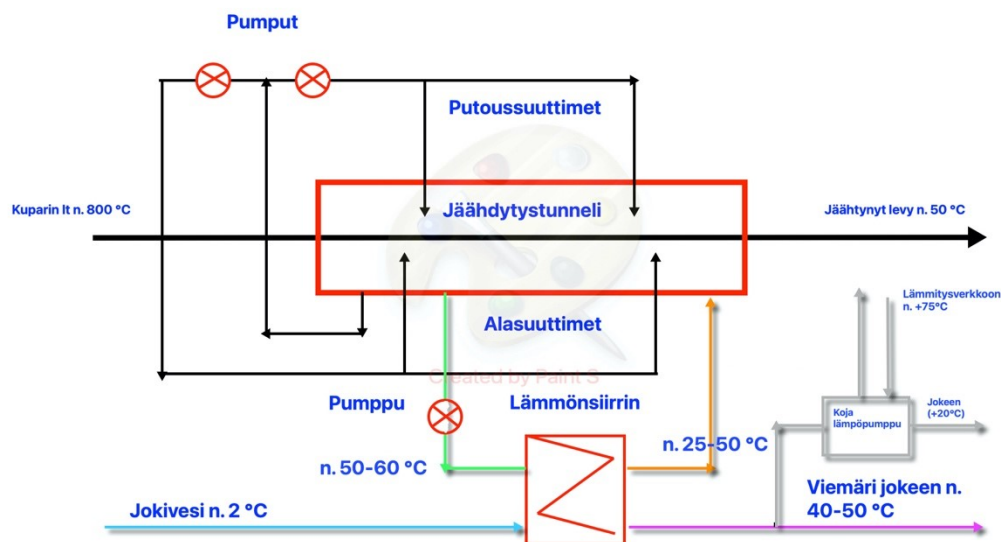
- Kone 1 jäähdytysteho 400 kW, lämmitysteho 525 kW ja COP 4,3
- Kone 2 jäähdytysteho 330 kW, lämmitysteho 450 kW ja COP 3,7
- Kone 3 jäähdytysteho 265 kW, lämmitysteho 380 kW ja COP 3,4
- Jokeen palaava vesi 23 °C

#### 2. Jos luovutuspuolelta 65 °C vesi ulos

- Kone 1 jäähdytysteho 430 kW, lämmitysteho 525 kW ja COP 5,2
- Kone 2 jäähdytysteho 360 kW, lämmitysteho 455 kW ja COP 4,6
- Kone 3 jäähdytysteho 300 kW, lämmitysteho 400 kW ja COP 4,0

- Jokeen palaava vesi 21 °C

Jokaiselle lämpöpumpulle on varattava tilaa lattialta 2600 mm \* 950 mm + huoltotilat ympärille. Lisäksi etusulake tarvitsee olla 250 amp (400V 3ph). Kuvassa 12 on esitetty havainnollistavasti Kojan lämpöpumppujärjestelmän liittäminen jäädytysprosessiin. Investoinnin hinta-arvio pelkille lämpöpumpuille on noin 110 000 €/kpl eli yhteensä 330 000 €/kpl. Lämpöpumppujen hinta-arvion lisäksi investoinnin kokonaishintaan kuuluu valssaamon lämmitykseen sisältyvät patteri, puhallin, kanavistot, putket ja automaatio. Näiden ja teknisen toteutuksen hinnaksi voidaan arvioida noin 50 000-100 000 €. Investoinnin karkea hinta-arvio on noin 400 000 €. (Tuhola 2021)



Kuva 12. Jäähdytysprosessi, johon on kytkettyä Kojan lämpöpumppujärjestelmä.

NIBE Energy Systems Oy:ltä saadun lämpöpumppumitoituksen ja energialaskelman perusteella kohteeseen tarvittaisiin kolme 60 kW tehoista lämpöpumppua. Mitoitus tehtiin prosessin arvojen perusteella. Lämpöpumpuiksi valikoitui NIBE F1345-60 kiinteistölämpöpumput, jotka muodostavat luotettavan ja tehokkaan järjestelmän. Lämmitystehon tarve on 180 kW, joten asennetaan kolme 60 kW:n konetta yhdestä ohjauksesta käytettäväksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuutta voidaan älykkään ohjauksen avulla helposti yhdistää kiinteistöautomaatioon ja se sisältää etähallintapalvelun.



Kuva 13. NIBEn lämpöpumppujärjestelmän mitoitus. (Väätänen 2021).

NIBE F1345-60 lämpöpumppu sisältää kaksi kompressoriyksikköä, joita pystytään käyttämään yhdessä tai erikseen. Tämä mahdollistaa, että kompressoreilla voi lämmittää esimerkiksi tiloja ja käyttövettä erikseen. Laitteen kaksikompressoritekniikalla johdosta kylmäaine jää alle vaadittavan viiden CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnin, joka on kylmäaineen vuositarkastusvaatimus.

Lämpöpumppu käyttää kylmäaineenaan R410:a ja sitä tulee kumpaankin kompressoriyksikköön 1,7 kg eli yhteensä 3,4 kg. CO<sub>2</sub>-ekvivalenttimäärä on yhdessä kompressoriyksikössä 3,55 tonnia eli yhteensä 7,1 tonnia. NIBE F1345-60 lämpöpumppu on korkeudeltaan 1800 mm, leveydeltään 600 mm ja syvyydeltään 620 mm. Pumppujen määrän ollessa kolme, tarvitaan todennäköisesti uusi tila lämpöpumppujärjestelmälle, jotta mahdolliset huoltotoimenpiteet sujuvat helpommin ja pumppujen seuranta on vaivattomampaa.

## ENERGIALASKELMA

### KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	437145 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	0 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	9431 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	180,0 kW

### ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	446576 kWh/vuosi
--------------------	------------------

### LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	86779 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

### SÄÄSTÖT

<b>Energiansäästö</b>	<b>359797 kWh/vuosi</b>
CO2 säästöt	32475 kg/vuosi

### SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	5,3 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-26,0 °C

### RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	60 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	40 °C

### ENERGIALASKENNAN TULOKSET

<b>-NIBE F1345-60 med dubbla kompressorer</b>	<b>3 kpl</b>
LP:n tuottama energia	437145 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	76316 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu (<50kWh)	0 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	10464 kWh/vuosi
Energianpeitto	100 %
Vuosilämpökerroin, LP	5,7
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	5,0
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	180,0 kW
Ottoteho MUT:SSA	34,4 kW
Laskennallinen lisäteho	0,0 kW
Tehopeitto	100 %

Kuva 14. NIBEn suorittama energialaskelma kohteesta. (Vääänen 2021).

## 7.4.2 Lämminilmapuhaltimet

Mahdollisia lämmön talteenoton hyödyntämiskohteita omassa kiinteistössä ovat esimerkiksi prosessissa palamis- ja korvausilman esilämmittäminen, ilmastoinnin tehostus, eri tilojen lämmitys, lämmin käyttövesi ja muut tuotannon tarpeet. (Motiva Oy, 2002.)

Yksi vaihtoehto ylijäämälämmön hyödyntämiseen omassa kiinteistössä, tässä tapauksessa valssaamossa on vesikiertoiset lämminilmapuhaltimet, koska jäähdytysveden lämpötila on valmiiksi käyttöön sopiva. Lämminilmapuhaltimien avulla voidaan korvata suuri osuus tällä hetkellä sisäilman lämmitykseen ostettavasta kaukolämmöstä.

Lämminilmapuhaltimet soveltuvat hyvin teollisuuden prosesseihin ja vaativiin käyttöolosuhteisiin. Esimerkiksi Kojan Termis -lämminilmapuhaltimet ovat tarkoitettu sisäkäyttöön, jossa ympäristön lämpötila tulee olla 0-40 °C, kun käytetään vettä lämmönsiirtonesteinä. Lämminilmapuhallin asennetaan kiinteästi seinään asennuskannakkeiden avulla. (Koja 2012, 2).

Nykyisen järjestelmän säilyttäminen ja uusien lämmön talteenotolla toimivien lämminilmapuhaltimien lisääminen on teoriassa parhain ratkaisu, mutta se vaatii lisäsuunnittelua. Uusien lämminilmapuhaltimien liittäminen nykyiseen järjestelmään vaatisi automaattiosuunnittelua niiden käytön suhteen. Järjestelmän olisi toimittava niin, että lämmitys tapahtuisi ensisijaisesti jäähdytysvedestä saadulla lämmöllä ja kun lämpöä ei olisi saatavilla, vastaisi nykyinen järjestelmä lämmityksestä. Uusia lämminilmapuhaltimia voitaisiin hyödyntää, kun tuotanto on käynnissä ja jäähdytysvedestä saadaan lämpöä. Keväästä syksyyn uudet lämminilmapuhaltimet saattaisivat riittää yksinäänkin riittävään lämmitykseen, mutta talvella lämmöntarve on suurempi.

## 7.5 Kojan ja NIBEn lämpöpumppujärjestelmien vertailu

Kojan ja NIBEn lämpöpumppujärjestelmien mitoitukset osoittivat, että kohteeseen tarvittaisiin kolmen lämpöpumpun järjestelmä. Lämpöpumppujen kokoluokat vaihtelivat kuitenkin suuresti näiden välillä. Kojan mitoitus sisälsi kaksi eri vaihtoehtoa lämpöpumppujärjestelmälle. Ensimmäisen järjestelmän avulla luovutuspuolelta saataisiin 75 °C vettä noin 3,9 COP:lla ja toisen järjestelmän avulla saataisiin 65 °C vettä noin 4,6 COP:lla. Kojan lämpöpumppujen lämmitystehot vaihtelevat noin 400-500 kW:n välillä. Näistä ensimmäinen vaihtoehto olisi kohteeseen mieleisempi, koska luovutuspuolelta saatava vesi olisi helpommin hyödynnettävissä valssaamon lämpöverkossa.

NIBEn lämpöpumppujärjestelmän avulla vettä pystyttäisiin nostamaan 60 °C lämpötilaan ja sen COP olisi 5,0. Lämpöpumppujen lämmitysteho olisi kuitenkin vain 180 kW yhteensä, joten koko järjestelmän lämmitysteho olisi pienempi kuin Kojan yhden lämpöpumpun lämmitysteho. NIBEn järjestelmällä tuotettavan energian määrä on selkeästi pienempi kuin Kojan järjestelmällä, joten järjestelmän kannattavuuslaskelmiin valitaan Kojan ensimmäinen vaihtoehto.

## 7.6 Hyödyntäminen lähikiinteistöissä

Lämmön talteenoton mahdolliset hyödyntämiskohteet lähikiinteistöissä riippuu hyvin paljon ympäristöstä, joissa kyseinen oma kiinteistö sijaitsee. Lähikiinteistöissä hyödyntäminen on järkevä vaihtoehto niissä tapauksissa, joissa lähikiinteistöillä on suuri energian ostotarve.

Tässä tapauksessa, kun tarkastellaan Aurubis Finland Oy:n lähiympäristöä, voidaan todeta, että kiinnostavimmat hyödyntämiskohteet ovat omassa kiinteistössä ja kaukolämpöverkkoon myymisessä. Aurubis Finland Oy sijaitsee teollisuusalueella, jossa on useita eri metallialan toimijoita, joilla on omia mahdollisia lämmön talteenotonjärjestelmiä ja näin ollen ulkoisen energian tarve ei ole kovin suuri. Tästä syystä työssä ei tarkastella tarkemmin lämmön talteenoton hyödyntämistä lähikiinteistöissä.

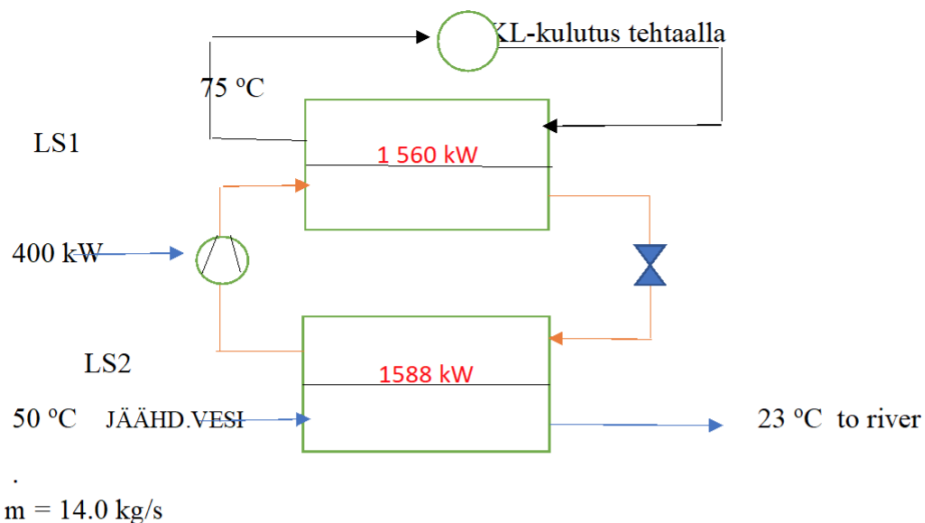
## 8 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

Lämpöpumppujärjestelmien vertailun perusteella kannattavuuslaskelmiin on valittu Kojan lämpöpumppujärjestelmän mitoituksen 1. vaihtoehto. Kannattavuuslaskelmissa on tarkasteltu miten eri tekijöiden muutokset vaikuttavat järjestelmän takaisinmaksuaikaan. Laskelmissa on vertailtu eri käyntiaikojen sekä investoinnin, kaukolämmön ja sähkön hinnan vaikutuksia.

### 8.1 Kojan lämpöpumppujärjestelmän mitoituksen 1. vaihtoehto

Lämpöpumppujen COP on keskiarvo 3,9 ja tehona käytetty keskiarvoa noin 400 kW. Kaukolämmön ja sähkön hinnat arvioita. Investoinnin hinnaksi arvioitu noin 400 000 €.

JÄÄHDYTYSVEDEN LTO (KOJA) COP = 3.9



$$\Delta W_{el} = 400 \text{ kW} \rightarrow \text{tuottaa lämpöä } 3.9 \times 400 \text{ kW} = 1560 \text{ kW}$$

Kuva 15. Jäähdytysveden lämmön talteenotto Kojan 1. vaihtoehto.

$$\text{Uusi } \Delta t = 50 \text{ °C} - 23 \text{ °C} = 27 \text{ °C}$$

Jäähdytysveden talteen saatava teho:

$$Q = c * m * \Delta t$$

$$4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) * 14 \text{ kg/s} * 27 ^\circ\text{C} = 1\,588 \text{ kW}$$

Lämmönsiirrin 2:een eli lämpöpumppuun syötetään 14 kg/s vettä ( $t = 50 ^\circ\text{C}$ ). Vesi jäähtyy ja luovuttaa lämpöä työfluidiin. Sähköstä (400 kW) saadaan 1 560 kW lämpöä. Valssaamon omaan lämpöverkkoon saadaan siirrettyä 1 560 kW lämpöä. Talvella tarve on suurin ja mitoitus on tehty sen mukaan. Valssaamo käyttää/ostaa vuodessa kaukolämpöä keskimäärin  $150 \text{ MWh} * 12 = 1\,800 \text{ MWh}$ . Lämmön talteenotosta saataisiin vuositason lämpöä talteen 4 000 h käyntiajalla:  $4\,000 \text{ h} * 1\,560 \text{ kW} = 6\,240 \text{ MWh}$ . Määrä on enemmän kuin tarvittava lämpö.

Jos lämpöä ei saada ollenkaan myydyksi kaukolämpöverkkoon, säästöä tulee lämpölaskussa  $1\,800 \text{ MWh} * 40 \text{ €/MWh}$  (kaukolämmön hinta) = 72 000 € (=minimisäästö). Vähennetään tästä lämpöpumppujen sähkönkäyttö  $P = 400 \text{ kW} * 4\,000 \text{ h} = 1\,600 \text{ MWh}$  -> kustannus on  $1\,600 \text{ MWh} * 50 \text{ €/MWh}$  (sähkön hinta) = 80 000 €. Tähän kun lisätään vuotuiset ylläpitokustannukset noin 5 000 €, on nettotulos negatiivinen.

Jos kaukolämpöä pystytään myymään kaukolämpöverkkoon, tulos muuttuu kannattavaksi. Kaukolämpöä pystytään teoriassa myymään  $(6\,240 - 1\,800) \text{ MWh} = 4\,440 \text{ MWh}$ , jonka arvo olisi  $4\,440 \text{ MWh} * 40 \text{ €/MWh} = 177\,600 \text{ €}$ . Lisätään tähän 72 000 € omakäyttöhyöty -> 249 600 €. Vähennetään tästä lämpöpumppujen sähkönkäyttö 80 000 € sekä 5 000 € ylläpitokustannukset, jolloin saadaan nettotulokseksi 164 600 €. Takaisinmaksuajaksi saataisiin 2,5 vuotta ylläpitokustannuksien jälkeen. Jos kaukolämmöstä pystyttäisiin myymään puolet olisi nettotulos 75 800 €, olisi investoinnin takaisinmaksuaika reilu 5 vuotta.

Oletetaan, että olemassa olevan jäähdytysveden pumpun kapasiteetti riittää pumppaamaan veden myös tulevan lämmönsiirtimen eli lämpöpumpun läpi. Lämmönsiirrin aiheuttaa painehäviön ja myös valssaamon lämpöverkkoon asennettava lämmönsiirrin aiheuttaa ylimääräisen painehäviön. Esimerkiksi ylimääräinen painehäviö  $dP = 0,5 \text{ bar}$  veden massavirralla 14 kg/s ja hyötysuhteella 70 % aiheuttaisi ylimääräisen tehontarpeen:

$$dP = 0,014 \text{ m}^3/\text{s} * 50 \text{ kPa} / 0,70 = 1 \text{ kW}$$



Voidaan siis osoittaa, että ylimääräinen 0,5 bar:in ei juurikaan vaikuta koko energiataseeseen.

Investoinnin takaisinmaksuaikaan voi vaikuttaa merkittävästi mahdolliset investointituet, joita voidaan myöntää uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille. Energiansäästöä edistävien investointihankkeiden tuki osuus on noin 20 %. (Calefa Oy, 2021.)

## 8.2 Lämminilmapuhaltimet

Hinta-arviota ja takaisinmaksuaikaa on tässä vaiheessa vaikea arvioida, koska ei tiedetä kuinka monta ja minkä kokoisia puhaltimia tila tarvitsisi. Esimerkiksi Kojalta ehdotettiin vierailua valssaamossa, jotta pystyttäisiin tarkasti arvioimaan miten lämmön talteenotto ja ilmanlämmitys ja jako olisi toteutettavissa. Ensisijaiseksi ratkaisuksi on kuitenkin suunniteltu lämpöpumppujärjestelmää, joten syytä tarkemman lämminilmapuhaltimien kannattavuuden laskemiseksi ei tässä kohtaa vielä ole.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon jäähdytysveteen on sitoutunut lämpötehoa sekä miten lämpöä pystyttäisiin ottamaan talteen. Lisäksi tuli miettiä, missä kohteissa talteen otettua lämpöä voitaisiin hyödyntää.

Veteen sitoutuneeksi lämpötehoksi saatiin 3 208 kW, jolloin 4 000 h/a tuotannolla se tekee vuotuiseksi lämpöenergian määräksi 12 800 MWh/a. Tämän suuren jäähdytysveteen sitoutuvan lämpötehon määrän perusteella voidaan todeta, että kohteeseen olisi tarvetta lämmön talteenottojärjestelmälle, koska sitä pystyttäisiin

hyödyntämään omissa tuotannon prosesseissa tai myymään tarvittaessa Pori Energian kaukolämpöverkkoon.

Jokeen palaavan jäähdytysveden lämpötila on melko alhainen noin 35-50 °C tuotannon ollessa käynnissä. Tästä syystä kohteeseen soveltuu käytännössä ainoastaan lämpöpumppuratkaisu, jonka avulla pystytään nostamaan veden lämpötilaa hyödyntämiskelpoiseksi. Selvitystä varten saatiin karkeat arviot ja mitoitukset lämpöpumppujärjestelmälle Koja-Yhtiöt Oy:ltä ja NIBE Energy Systems Oy:ltä. Lisäksi selvityksessä esitettiin myös lämminilmapuhallinjärjestelmä sisäilman lämmitystä varten, mutta ensisijainen suunnitelma on kuitenkin lämpöpumppujärjestelmä.

Aurubis Finland Oy:n tahtona olisi saada lämpöpumppujärjestelmä, jonka avulla jäähdytysveteen sitoutunutta lämpöä voitaisiin hyödyntämään kuparivalssaamon omassa lämpöverkossa. Valssaamon omasta lämpöverkosta olisi lämpöä helppo käyttää haluamassa käyttökohteessa esimerkiksi tuotannon prosesseissa, sisäilman lämmityksessä tai käyttöveden lämmityksessä. Myös ylitse jäävän kaukolämmön myyminen kaukolämpöverkkoon on mahdollisuus.

Mitoitusten perusteella kannattavuuslaskelmiin valittiin Kojan 1. vaihtoehto, joka koostuisi kolmesta lämpöpumpusta, jotka muodostaisivat yhdessä kokonaisuuden. Kojan järjestelmän avulla veden lämpötila pystyttäisiin nostamaan 75 °C lämpötilaan, joka olisi riittävä valssaamon lämpöverkkoon. Lämpöpumppujen lämmitysteho olisi keskimäärin 400 kW ja COP 3,9. Investoinnin hinnaksi arvioidaan 400 000 €.

Kannattavuuslaskelmien perusteella voidaan todeta, että lämmön talteenottojärjestelmä näiden mitoitusten perusteella on kannattava, jos lämpöä pystytään myymään kaukolämpöverkkoon. Mikäli pystytään myymään kaikki saatava lämpö, takaisinmaksuaika on 2,5 vuotta ja pystytään myymään puolet, takaisinmaksuaika on reilu 5 vuotta. Muutoin järjestelmä ei ole kannattava Kojan mitoitusten perusteella.

## LÄHTEET

Aurubis Finland Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 28.1.2021. <https://www.aurubis.fi>

Calefa Oy, 2015. 'Missä teollisuuden hukkalämpö voidaan hyödyntää?' Hukkaenergia hyödyksi. 29.10.2015. <https://hukkaenergiahyodyksi.com/2015/10/29/missa-teollisuuden-hukkalampo-voidaan-hyodyntaa/>

Calefa Oy 2021. Kannattavuuslaskuri. Viitattu 25.3.2021. <http://www.calefa.fi/fi/kannattavuuslaskuri/>

Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus. Teknologiateollisuuden toimenpideohjelma. 2016. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimus/#sopimukset-toimenpideohjelmat-ja-liittymisasiakirjat>

Hakala, P – Kaappola, E. 2013. Kylmälaitosten suunnittelu. 3. tarkistettu painos. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy. Viitattu 26.2.2021.

Hannelius, T. 2018. Lämmönsiirtotekniikan luentomoniste. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Juvonen, J. 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas. Viitattu 26.2.2021. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38833/YO\\_2009\\_Lampo-%20kaivo\\_26\\_4\\_2011.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38833/YO_2009_Lampo-%20kaivo_26_4_2011.pdf?sequence=1)

Koja 2012. Termis – Esite. Viitattu 15.4.2021. <https://koja.materiaali.fi>

LeaseGreen Group Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 17.2.2021. <https://leasegreen.com/fi/>

LeaseGreen Group Oy. Energiatehokkuutta elinkaaripalveluna -esiselvitys 17.10.2017. Viitattu 17.2.2021.

Maaskola, I – Kataikko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Helsinki: Motiva. Viitattu 25.2.2021. [https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Lampopumppu- ja\\_ORC-sovellukset.pdf](https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu- ja_ORC-sovellukset.pdf)

Motiva Oy 2013. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. Viitattu 28.1.2021. [https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon\\_hukkalampo\\_hyodyksi.pdf](https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf)

Motiva Oy 2002. Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. Viitattu 28.1.2021. [https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas\\_Lammitys\\_LTO\\_KOULUTUSAIN\\_EISTO.pdf](https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAIN_EISTO.pdf)

Myllyharju, T. (6.4.2021). Tapio Myllyharjun sähköposti.

NIBE Energy Systems Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 15.4.2021.  
<https://www.nibe.eu/fi/fi>

Rahola, M. (18.2.2021). Markus Raholan sähköposti.

Sadeharju, K. 2014. Maakaasukäyttöisten polttomoottorivoimalaitosten pakokaasujen lämmöntalteenotto. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 25.2.2021.  
<http://docplayer.fi/4051102-Katri-sadeharju-maakaasukayttois-%20ten-polttomoottorivoimalaitos-ten-pakokaasujen-lammontalteenotto-diplo-%20mityo.html>

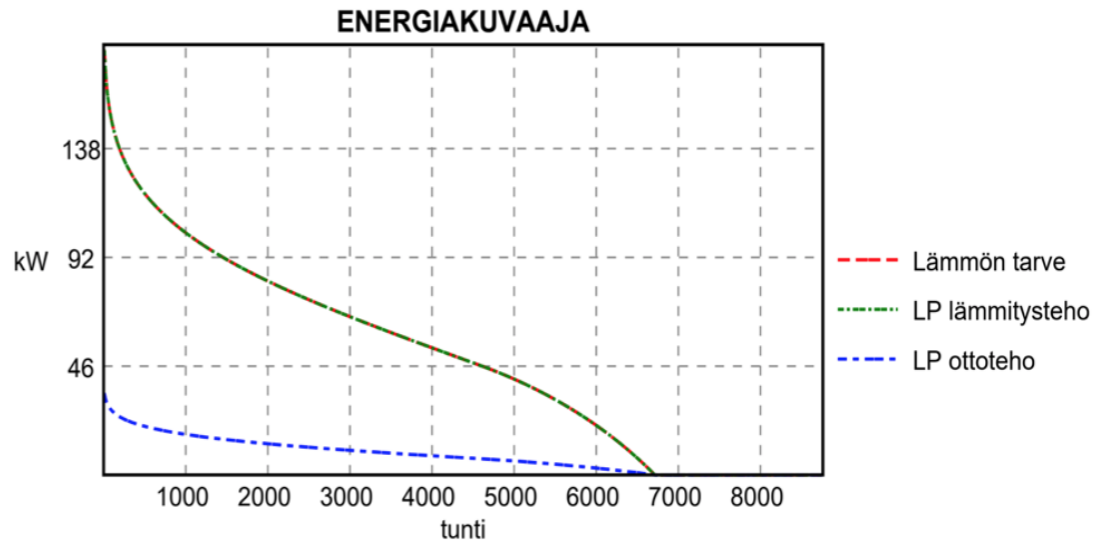
SFS-EN ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use (ISO 50001:2018). 2018. Finnish Standards Association SFS. Helsinki. Viitattu 22.2.2021. <http://www.sfs.fi/>

Sjöstedt, T. 2016. Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat. Sitra. Viitattu 15.2.2021. <https://www.sitra.fi>

Tuhola, H. (28.4.2021). Henri Tuholan sähköposti.

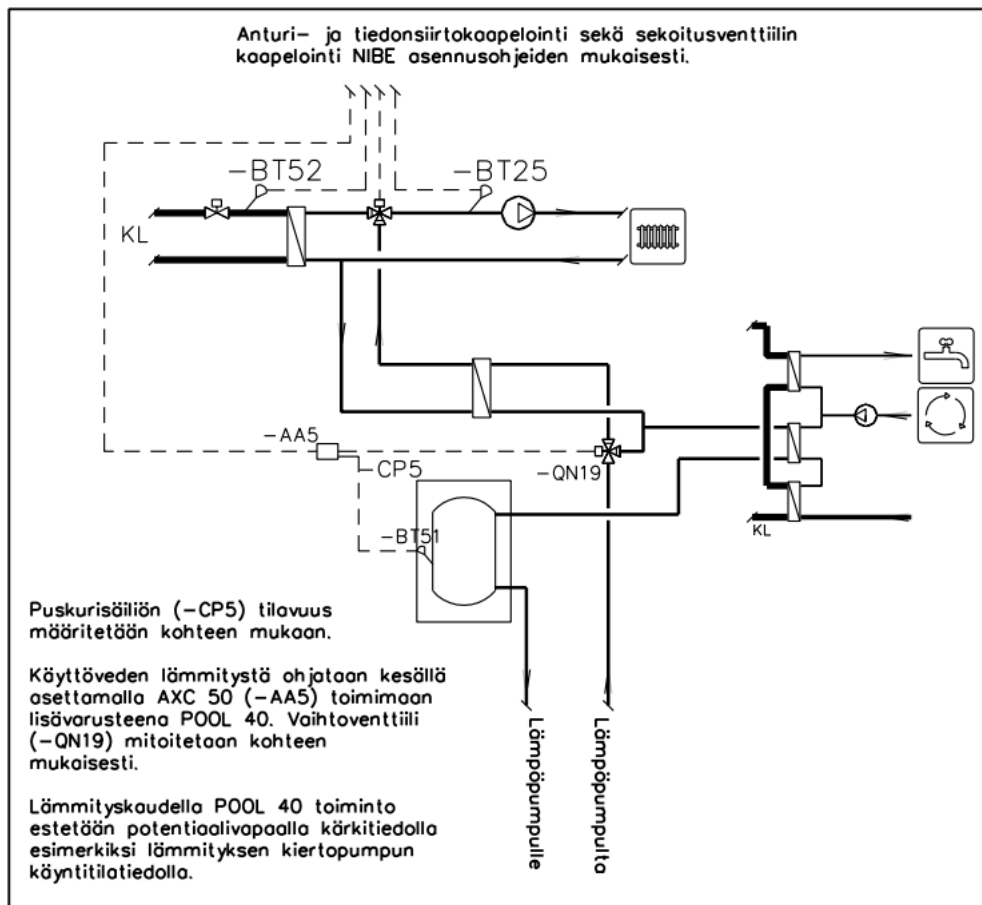
Valkeejärvi, M. (18.3.2021). Mika Valkeejärven sähköposti.

Väätänen, J. (9.4.2021). Jukka Väätäsen sähköposti.

**POHJAVESI**

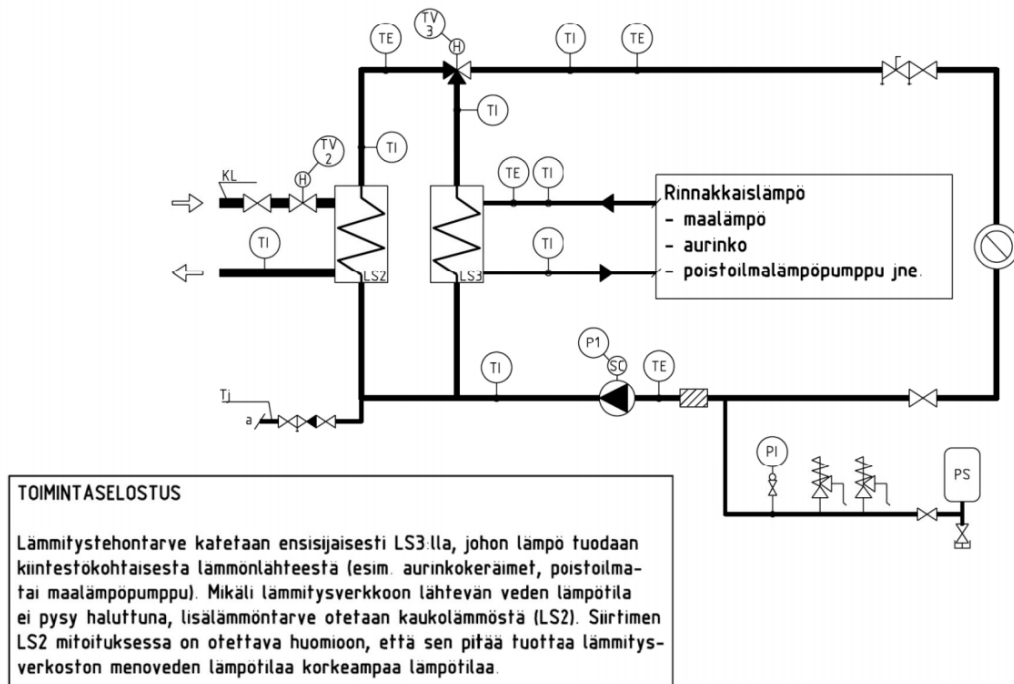
Veden tarve vuodessa	105172 m <sup>3</sup>
Average flow during operation time	12,5 kg/s
Liuoksen virtaama	23,0 kg/s
Tulevan liuoksen keskilämpötila	25,0 °C

Kuva 16. Lämpöpumppujärjestelmän energiakuvaaja. (Väätänen 2021).



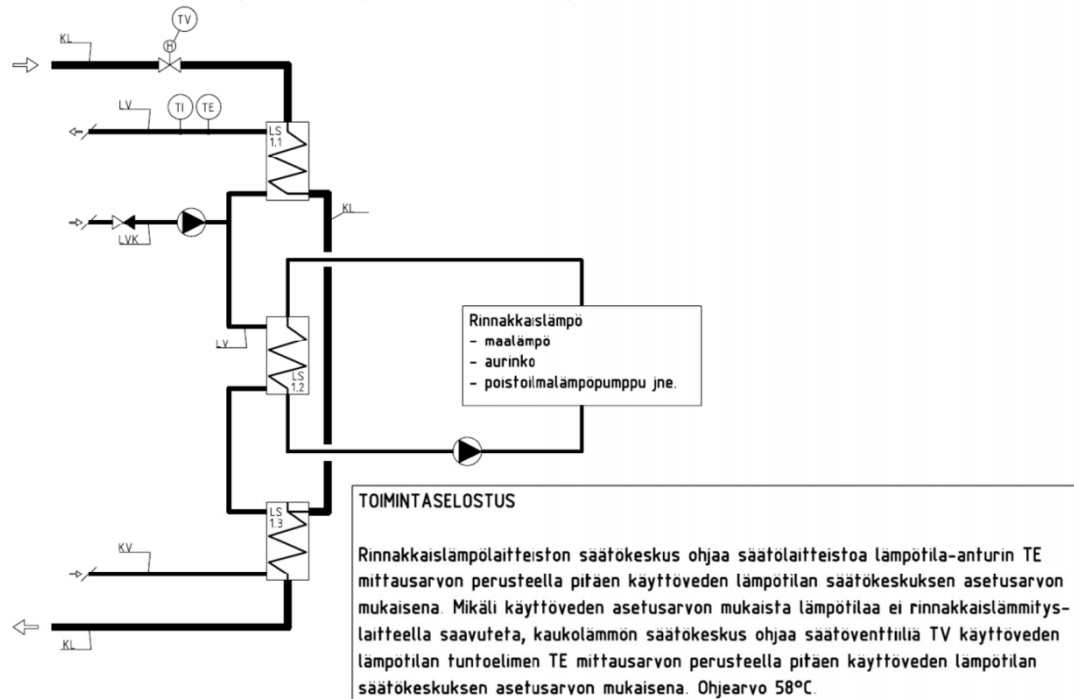
Kuva 17. Lämpöpumpujärjestelmän kaapelointi. (Väättänen 2021).

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



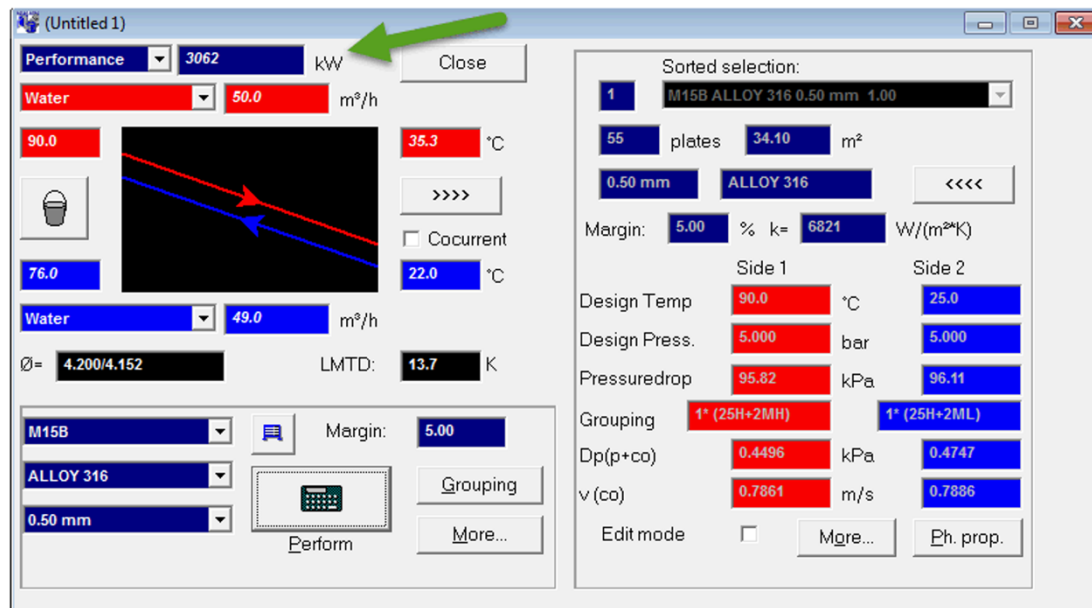
Kuva 18. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen. (Väättäen 2021).

### Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



Kuva 19. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Väättäen 2021).





Kuva 20. Lämmönsiirtimen mallinnus. (Rahola 2021).