

Tiia Tirkkonen

YLIJÄÄMÄLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN ABSORPTION AVULLA KAUKOJÄÄHDYTYKSEEN

YLIJÄÄMÄLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN ABSORPTION AVULLA KAUKOJÄÄHDYTYKSEEN

Tiia Tirkkonen
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Tiia Tirkkonen

Opinnäytetyön nimi: Ylijäämälämmön hyödyntäminen absorptio avulla kaukojäähdytykseen

Työn ohjaajat: Niko Peltokangas ja Reijo Pantsar

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 27 + 1 liite

Tämän Oulun Energia Oy:lle tehdyn opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka kaukolämpöverkossa olevaa lämpöenergiaa pystytään hyödyntämään absorptio avulla kylmätuotannossa Oulun Energian asiakkaan jäähdytykseen. Työssä tutkittiin yleisesti absorptioteknologiaa ja selvitettiin, millaiset lämpötilataseet Oulun Energian asiakkaan jäähdytystarpeille sopivalla absorptiojäähdyttimellä on. Opinnäytetyö toteutettiin vertailemalla Oulun Energian asiakkaan jäähdytyspiikkien ajallista sijoittumista kaukolämpöverkossa olevaan ylijäämälämpöön, haastatteleamalla kylmälaitesuunnittelijaa ja perehtymällä absorptioteknologiaan.

Kaukojäähdytystä tuotetaan neljällä eri tavalla: lämpöpumpuilla, vapaajäähdytyksellä, kompressoireilla ja absorptiolämpöpumpuilla. Absorptiojäähdytysprosessi perustuu jäähdyttimessä käytettävän työaineparin ominaisuuksiin ja siihen, miten ainepari käyttäytyy liuksena. Työaineparin absorptiojäähdytysprosessissa muodostavat kylmä- ja absorptioaine. Absorptiokone on peruskuorimakone, jolla täytyy olla kuormaa jatkuvasti, ettei sitä tarvitse pysäyttää. Alhaisten hyötysuhteiden vuoksi absorptiojäähdyttimen mahdollisuudet ovat tilanteissa, joissa sen käyttöenergiaksi on saatavilla hukkalämpöä.

Teoriaosiossa perehdyttiin yleisesti kaukojäähdytykseen ja absorptioteknologiaan. Absorptioteknologiaa käsittelevässä osiossa perehdyttiin erilaisiin absorptiolämpöpumppprosesseihin, absorptiojäähdyttimissä käytettäviin työainepareihin sekä absorptiojäähdyttimien etuihin ja ongelmiin.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että kaukolämpöverkossa oleva ylijäämälämpö sijoittuu ajallisesti Oulun Energian asiakkaan jäähdytystarvepiikkeihin ja on täten hyödynnettävissä absorptio avulla kaukojäähdytykseen. Oulun Energian asiakkaan jäähdytys voitaisiin toteuttaa kahdella SE-absorptiojäähdyttimellä. Absorptiojäähdyttimen käynnistys- ja pysäytysajat ovat hitaita, joten niiden rinnalle voitaisiin lisätä tehonsäätökone nopeiden jäähdytystarpeiden vaihteluita varten. Lisäksi opinnäytetyön tuloksena saatiin selville Oulun Energian asiakkaan jäähdytystarpeisiin sopivien absorptiojäähdyttimien lämpötilataseet.

Asiasanat: kaukojäähdytys, absorptiojäähdytys, hukkalämpö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services

Author: Tiia Tirkkonen

Title of thesis: Utilization of surplus heat for district cooling through absorption

Supervisors: Niko Peltokangas and Reijo Pantsar

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 27 + 1 appendix

This thesis was made for Oulun Energia. The aim of this thesis was to find out how the heat energy in the district heating network can be utilized with the help of absorption in cold production for the cooling of the customer of Oulun Energia. The thesis investigated absorption technology in general and found out what kind of temperature balances an absorption chiller suitable for the cooling needs that the customer of Oulun Energia has. The thesis was carried out by comparing the temporal location of the customer of Oulun Energia cooling spikes with the surplus heat in the district heating network, interviewing the refrigeration equipment designer and learning about absorption technology.

In the theory part, we learned about district cooling and absorption technology. In the section dealing with absorption technology, we learned about different absorption heat pump processes, pairs of working substances used in absorption chillers and the advantages and problems of absorption chillers.

As a result of this thesis, it was found that the surplus heat in the district heating network is temporarily located in the cooling demand peaks of the customer of Oulun Energia and can thus be used for district cooling through absorption. The cooling of the customer of Oulun Energia could be implemented with two single-effect absorption coolers. The start-up and stop times of the absorption cooler are slow, so a power control machine could be added alongside them for rapid changes in cooling needs. In addition, as a result of the thesis, the temperature balances absorption coolers suitable for the cooling needs of the customer of Oulun Energia were found out.

Keywords: District cooling, absorption cooling, surplus heat

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KAUKOJÄÄHDYTYS	7
2.1	Kaukojäähdytyksen tuotantotavat.....	7
2.2	Kaukojäähdytyksen edut	9
2.3	Kaukojäähdytyksen laitetekniikka tulevaisuudessa	9
3	YLIJÄÄMÄLÄMPÖ.....	11
3.1	Ylijäämälämmön määritelmä	11
3.2	Lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä	11
4	ABSORPTIOJÄÄHDYTYS.....	13
4.1	Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate	13
4.2	Absorptiolämpöpumpun prosessit	14
4.3	Aineparit absorptiojäähdytyksessä	16
4.4	Absorptiojäähdyttimen edut ja ongelmat.....	17
5	YLIJÄÄMÄLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOJÄÄHDYTYKSESSÄ.....	18
5.1	Ylijäämälämmön sijoittuminen jäähdytystarpeen piikkeihin	18
5.2	COP-kerroin	19
5.3	Absorptiojäähdyttimen hyödyntämän ylijäämälämmön määrä jäähdytykseen	20
5.4	Absorptiojäähdyttimen pysäytys- ja käynnistysajat.....	20
6	ABSORPTIOJÄÄHDYTTIMEN LÄMPÖTILATASEET	22
6.1	Suunnittelupaineet ja -lämpötilat ja mitoituslämpötilat	22
6.2	Absorptiojäähdyttimien lämpötilataseet	23
7	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET	28

1 JOHDANTO

Suomen suurissa kaupungeissa kaukojäähdytys on yleistynyt nopeasti. Kaukokylmän myynti on kaksinkertaistunut viiden vuoden sisällä ja kaukojäähdytys on saatavilla muun muassa Helsingissä, Espoossa, Tampereella, Turussa ja Porissa. Erityisesti kaukojäähdytystä käytetään suurissa julkisissa tiloissa, kuten kauppakeskuksissa, toimistoissa ja sairaaloissa. (Tuomenoja 2020.)

Vaikka Helsinki on lisännyt kaukokylmän tuotantoa nopeimmin Euroopassa, Suomi on Keski-Eurooppaa ja muun muassa Ruotsia paljon jäljessä. Suomessa kaukojäähdytysverkoston sijainti jarruttaa kaukojäähdytyksen yleistymistä, sillä kiinteistö voidaan kytkeä kaukojäähdytyksen piiriin vain silloin, kun se sijaitsee verkon alueella. Lisäksi toisena ongelmana on investointi itse kiinteistöön. Vanhoissa asuintaloissa kaukokylmä tarvitsee lisäinvestointeja, ja se voidaan tehdä usein vain suuren LVIS-saneerauksen yhteydessä. Kaukojäähdytyksellä on Suomessa myös etuja. Kaukojäähdytyksen tekniikka on pitkälti sama kuin kaukolämmössä, jonka teknologia on Suomessa hyvin tuttu ja nopeuttaa sen vuoksi kaukokylmän käyttöönottoa. (Tuomenoja 2020.)

Kaukojäähdytystä tuotetaan neljällä eri tavalla: lämpöpumpuilla, vapaajäähdytyksellä, kompressoireilla ja absorptiolämpöpumpuilla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia yleisesti absorptio-tekniikkaa ja selvittää, kuinka kaukolämpöverkossa olevaa lämpöenergiaa pystytään hyödyntämään absorption avulla kylmäntuotannossa. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään, millaiset lämpötilataseet Oulun Energian asiakkaan jäähdytystarpeille sopivalla absorptiojäähdyttimellä on.

Opinnäytetyö tehdään Oulun kaupungin omistamalle Oulun Energialle, jonka toimialoihin kuuluvat energiantuotanto sekä lämpö- ja sähköverkkopalvelut. Oulun Energia-konserniin kuuluvat Oulun Energia Oy, Oulun Energia Sähköverkko Oy, Syklo Oy, Turveruukki Oy ja Huoltovoima Oy. Oulun kaukolämpöverkko kattaa kaupungin keskustan ja sen lähialueet, kuten Haukiputaan, Jäälin, Kiimingin ja Oulunsalon. (Oulun Energia.)

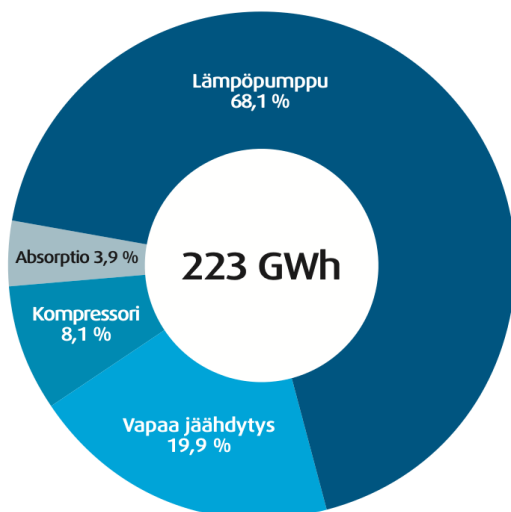
2 KAUKOJÄÄHDYTYS

Kaukojäähdytys eli kaukokylmä on jäähdytetyn veden jakelua erillisen jakeluverkoston välityksillä useille rakennuksille esimerkiksi ilmastoinnin kaukojäähdytykseen. Kaukojäähdytys tuotetaan keskitetyssä tuotantolaitoksessa. Toimintaperiaate kaukojäähdytyksellä ja kaukolämmityksellä on sama sillä erolla, että kaukojäähdytyksessä ylimääräinen lämpö siirretään asiakkaalta energiayrityksen kaukojäähdytysveteen. Kesäisin sähkön ja lämmön yhteistuotannossa kaikkea lämpöä ei tarvita kaukolämpönä. Tässä tapauksessa kaukojäähdytys voidaan tuottaa absorptiotekniikalla, jossa käytetään käyttöenergiaa kaukolämpöä, jota ei muuten hyödynnettäisi. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 529.)

Kaukojäähdytysenergian jakelu jaetaan keskitettyyn ja hajautettuun tapaan. Keskitetyssä järjestelmässä jäähdytysenergia tuotetaan suurissa yksiköissä absorptio- tai kompressorikoneilla. Lisäksi jäähdytysenergiaa tuotetaan keskitetyssä järjestelmässä lämpöpumpuilla ja vapaajäähdytyksellä, esimerkiksi meri- tai järvisedestä. Jäähdytysenergia jaetaan kuluttajille putkistoa pitkin. Sen sijaan hajautetussa järjestelmässä jäähdytys tuotetaan paikallisesti esimerkiksi rakennusryhmälle. (Koskelainen ym. 2006, 529.)

2.1 Kaukojäähdytyksen tuotantotavat

Kaukojäähdytysenergia voidaan tuottaa monella eri tavalla: vapaajäähdytyksenä esimerkiksi kylmästä meri- tai järvisedestä, absorptiojäähdytyskoneilla, kompressoritekniikalla ja lämpöpumpuilla. Kiinteistöihin menevän veden lämpötila on noin 6 °C ja kiinteistöltä palaavan veden lämpötila on noin 16 °C. Kylmäenergia menee kiinteistön jäähdytysjärjestelmään kiinteistön lämmönvaihtimien kautta. (Motiva Oy 2022.) On mahdollista yhdistellä erilaisia tuotantotapoja paikallisten olosuhteiden mukaan niin, että energia voidaan tuottaa mahdollisimman edullisesti. Kaukojäähdytysenergian varastointi lisää pienissäkin järjestelmissä toiminnan kannattavuutta. Lisäksi varastointi tuo joustavuutta ja lisävarmuutta jäähdytysenergian tarjontaan. (Energiamailma.) Kuvassa 1 havainnollistetaan kaukojäähdytyksen tuotantotapojen jakautuminen Suomessa.



KUVA 1. Kaukojäähdytyksen tuotantotavat (Kuopion Energia)

Käytetyin kaukojäähdytyksen tuotantotapa Suomessa on lämpöpumppu, jonka osuus kaukojäähdytyksen tuotannosta on 68,1 %. Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineprosessiin. Lämpöpumppuun kuuluu neljä pääkomponenttia: höyrystin, lauhdutin, paisuntaventtiili ja kompressori. (Lyytikäinen 2020.) Lämpöpumpussa on venttiileitä, jotka säätelevät kylmäaineen virtausta prosessissa ja kylmäaineen mukana kulkee öljyä, jonka tehtävänä on voidella kompressoria. Lämpöpumppuissa on myös laitteita öljyn palautusta ja erotusta varten. Lauhduttimen jälkeen tai ennen höyrystintä voi olla myös nestevaraaja, jonka tarkoitus on varastoida kylmäainetta. Lisäksi varaaja tasaa energian tarpeen vaihteluita, saa faasimuutoksen tapahtumaan lämmönsiirtimessä sekä tasoittaa kompressorin käyntiä. Höyrystin sitoo energiaa kylmäaineeseen. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja saa kylmäainetta paisuntaventtiilistä. Kylmäaine lauhtuu lauhduttimessa, ja sen paine ja lämpötila laskevat. Kompressorin tehtävänä on imeä höyrystimestä höyrystynyttä kylmäainetta pois. Imu pitää paineen höyrystimessä alhaisena ja höyrystymisen jatkuvasti käynnissä. (Koskelainen ym. 2006, 539.)

Toiseksi yleisin kaukojäähdytyksen tuotantotapa Suomessa on vapaajäähdytys, jonka osuus kaukojäähdytyksen tuotannosta on 19,9 %. Vapaajäähdytyksen periaate on luonnon omien energia-varastojen hyödyntämisessä, esimerkkinä meri- tai jokivesi ja ulkoilma. Vesistöjen kylmällä vedellä sellaisenaan voidaan kattaa kaukojäähdytyksen tarpeet 4–8 kuukautta vuodesta. Myös kesän ja syksyn välisenä aikana vesistöjen vesi on tehokas perustehon lähde. (Koskelainen ym. 2006, 531.) Esimerkiksi Kuopion Energian tuottamasta kaukojäähdytyksestä 70 % saadaan hyödyntämällä Kallaveden kylmiä syvänteitä (Kuopion Energia).

2.2 Kaukojäähdytyksen edut

Kaukojäähdytyksen etuna on, että energian käytön tehokkuus lisääntyy ja prosessien hyötysuhteet paranevat, kun jäähdytyksen tuotanto keskitetään suuriin yksikköihin. Kaukojäähdytys vähentää myös kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja muiden päästöjen, kuten typen oksidien, rikkidioksidin ja hiukkaspäästöjen määrää merkittävästi. (Koskelainen ym. 2006, 529.) Jäähdytysenergian tuotannon ulkoistaminen helpottaa kaukojäähdytetyn kiinteistön omistajaa, sillä kaukojäähdytetyn kiinteistön kohdalla ei enää tarvitse kantaa huolta jäähdytystuotannon toiminnallisuudesta tai kylmäalan lainsäädännön vaatimuksista. Kaukojäähdytyksen myötä kylmälaitteiden aiheuttamat ilma- ja runkoäänet sekä tärinät loppuvat ja kylmälaitteille varatut tilat vapautuvat muuhun käyttöön. (LVI 34-10462 2010.) Lisäksi kaukojäähdytysjärjestelmän etuna on esimerkiksi vapaajäähdytyksen ja jäähdytyksessä syntyvän lauhdutuslämmön helpompi hyödyntäminen (Laitinen, Rämä & Airaksinen 2016).

2.3 Kaukojäähdytyksen laitetekniikka tulevaisuudessa

Kompressoritekniikka on ainakin lähitulevaisuudessa yleisin jäähdytysenergian tuotantotapa. Tähän vaikuttaa muun muassa kompressoritekniikan laaja skaalautuvuus jäähdytystehojen ja käyttölämpötilojen suhteen. Kompressoritekniikan kehittyminen on kohdannut kylmäaineiden muutospainet, sillä Euroopassa tavoitteena vuoteen 2030 mennessä on vähentää kylmäaineiden kasvihuonepäästöjä lähes 80 %. Tämä johtaa muun muassa muutoksiin kompressoritekniikassa, esimerkiksi turbokompressorien magneettilaakeroinnit, jotka johtavat yksikkötehojen kasvuun ja öljyttömyyteen. Lisäksi osatehokuormituksen hyötysuhteet paranevat säätö- ja ohjausjärjestelmien kehityessä. (Laitinen ym. 2016.)

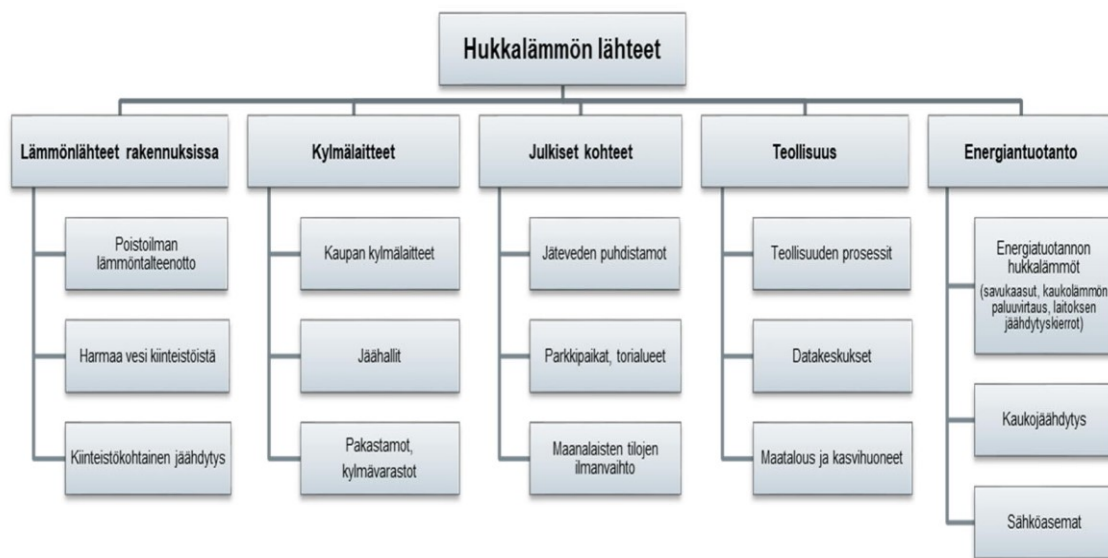
Sorptiotekniikassa tutkitaan nykyään järjestelmiä, jotka toimivat matalalla lämpötilatasolla ja niissä voidaan hyödyntää sekä aurinkolämpöä että myös matalalämpötilaista kaukolämpöä tai teollisuuden hukkalämpöä. Nykyään adsorptiolaitteet toimivat jo tyydyttävillä jäähdytystehoilla jo noin 65 °C:n lämpötilalla, jolloin kylmäkerroin on n. 0,6. Kun taas absorptiolaitteistot toimivat korkeammalla lämpötilalla 75 °C, jolloin päästään kylmäkertoimeen 0,7. Sorptiolaitteiden hyötysuhteet ovat heikkoja. Siksi sorptiolaitteet tarvitsevat tehokkaat jäähdytysjärjestelmät, jotta matalalämpötilainen (30–35 °C) hukkalämpö saadaan poistettua järjestelmästä. (Laitinen ym. 2016.)

Mahdollisuudet sorptiotekniikan käytössä ovat silloin, kun käytettävissä on ylijäämälämpöä ja lämmönkäytöstä saadaan hyötyjä kokonaisjärjestelmätasolla. Asuinrakennuksien jäähdyttämiseen sorptiotekniikan mahdollisuudet ovat huonot huonojen kylmäkertoimien, jäähdytyksen vähäisten käyttötuntien ja liian suurien investointikustannuksien vuoksi. (Laitinen ym. 2016.)

3 YLIJÄÄMÄLÄMPÖ

3.1 Ylijäämälämmön määritelmä

Ylijäämälämpö eli hukkalämpö ja -kylmä on sivutuotteena syntyvää lämpöä tai kylmää, jota syntyy esimerkiksi teollisuus- tai sähköntuotantolaitoksissa. Hukkalämpö katoaa ilmaan tai veteen, jos sitä ei johdeta kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmään. (Rämä& Klobut 2020.) Kuvassa 2 on esitetty eri hukkalämmön lähteet:



KUVA 2. Hukkalämmönlähteet ryhmiteltynä alkuperän mukaan (Rämä& Klobut 2020)

Ylijäämälämmön olomuodolla on suuri vaikutus sen hyödynnettävyyteen. Ominaislämpökapasiteetiltaan korkeampien, muuan muassa nesteiden tai paineisen höyryn, energian hyödyntäminen on helpompaa ja kannattavampaa kuin esimerkiksi ilman. Ylijäämälämmöltä vaaditaan lämpötila-aluetta, joka on 60–200 °C. Tällöin kylmäkerroin on välillä 0,5–1,6. (Motiva 2014.)

3.2 Lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä

Päätävät hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöjärjestelmässä ovat suuren kokoluokan keskitetyt lämpöpumput ja myös hajautetut, yleensä pienet rakennus- tai kohdekohtaiset lämpöpumput. Suurten lämpöpumppujen lämmönlähteinä toimivat teollisuuden prosessit, datakeskukset,

puhdistettu jätevesi sekä kaukojäähdytysverkko. Sen sijaan pienten lämpöpumppujen lämmönlähteinä toimivat muun muassa rakennukset ja kylmälaitteet. Helsingissä (Helen 2015) on yhdistetty lämpöpumpuilla kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotanto ja se onkin tärkeä esimerkki hukkalämpöjen hyödyntämisessä. Kaikkien kylmälaite- ja jäähdytysprosessien yhdistämisessä kaukolämmöntuotannossa toimii sama periaate ja molemmissa tapauksissa jäähdytyksen tarve määrittelee sen, kuinka paljon hukkalämpöä voidaan hyödyntää. (Rämä & Klobut 2020.)

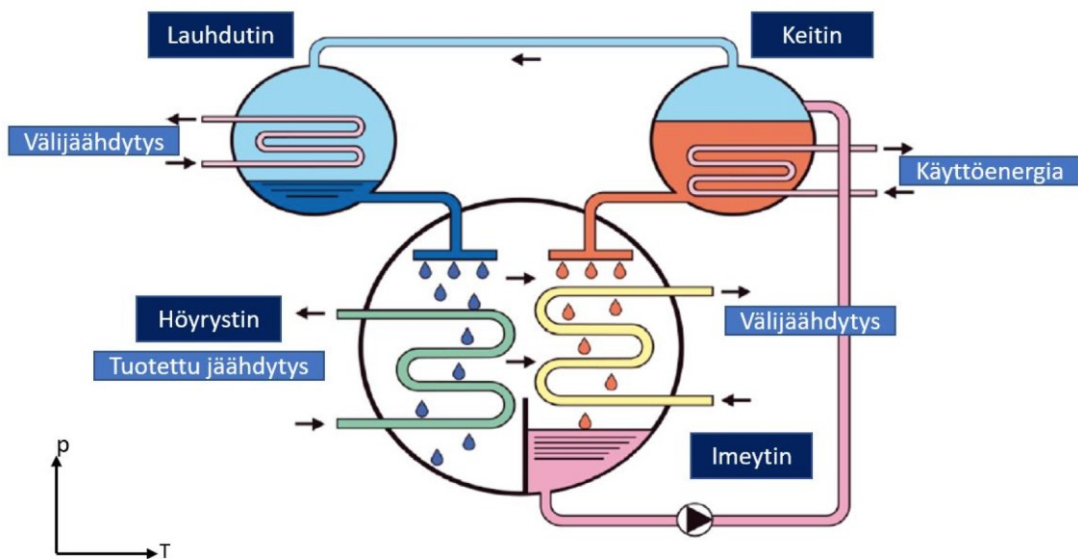
Osana kaukolämpöjärjestelmää suurilla lämpöpumpuilla on monia hyötyjä. Lämpöpumput lisäävät kaukolämpöjärjestelmän ja lämmöntuotannon joustavuutta mahdollistaen sähkön käytön lämmöntuotannossa. Yhdessä CHP-tuotannon kanssa lämpöpumput lisäävät joustavuutta sähkön tuotannossa ja myös käytön painottamisessa markkinaolosuhteiden mukaisesti. Lisäksi lämpöpumppujen avulla suurien peruskuormalaitosten käyttöasteen optimointi on mahdollista varsinkin tapauksissa, joissa järjestelmään kuuluu lämpöpumppujen lisäksi energiavarastoja. Lämpöpumppujen hyötynä on myös se, että niiden avulla hyödynnetään muuten hyödyntämättä jäävät ylijäämälämmönlähteet. Lämpöpumput kasvattavat myös uusiutuvan lämmöntuotannon osuutta eivätkä aiheuta lainkaan paikallisia päästöjä. Lisäksi ne suojaavat kaukolämpöyhtiöitä sähkönhinnan vaihteluilta järjestelmissä, joissa on CHP-tuotantoa. (Energiateollisuus 2016.)

4 ABSORPTIOJÄÄHDYTYS

Absorptiojäähdytysprosessi kuuluu sorptioprosesseihin. Sorptioprosesseja ovat absorptio eli kaasun liukeneminen nesteeseen, adsorptio eli kaasun sitoutuminen molekyylivoimien välityksellä huokoisen aineen huokoiseen sisäpintaan sekä desorptio eli kaasun vapautuminen kiinteästä aineesta tai nesteestä. Absorptiojäähdytysprosessi perustuu jäähdyttimessä käytettävän työaineparin ominaisuuksiin ja siihen, miten ainepari käyttäytyy liuksena. Työaineparin absorptiojäähdytysprosessissa muodostavat kylmä- ja absorptioaine. (Koljonen & Sipilä 1998.) Työaineparin tasapainotila muuttuu paineen ja lämpötilan muuttuessa. Absorptioprosessissa kylmäaine liikenee vuoroin liuotinnesteeseen ja vuoroin vapautuu nesteestä. Absorptiolämpöpumpun toimimiseen vaaditaan riittävän kuumaa käyttöenergiaa, lauhdutukseen käytettävä välijäähdytys sekä jäähdytettävä virta. Absorptiopumpun hyödyntämien käyttöenergian, välijäähdytyksen ja tuotetun jäähdytyksen lämpötilat vaikuttavat suuresti absorptiolaitteiden toiminta-arvoihin. (Bäckström 2022.)

4.1 Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate

Absorptiolämpöpumppu koostuu neljästä eri pääkomponentista: imeytimestä, keittimestä, lauhdutimesta ja höyrystimestä (KUVA 3).

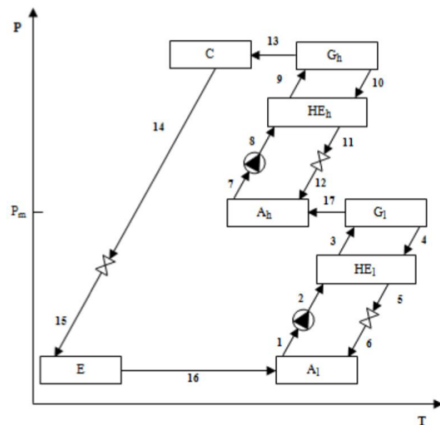


KUVA 3. Absorptiolämpöpumpun energiavirrat ja pääkomponentit (Bäckström 2022)

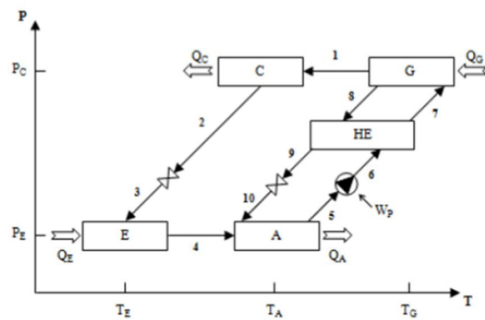
Absorptiojäähdytysprosessissa höyrystin ja lauhtutin korvaavat lämpöpumpun. Kylmäaine virtaa lauhttimelta paisuntaventtiin kautta höyrystimelle. Kylmäaine höyrystyy osin jo paisuntaventtiilissä ja loput kylmäaineesta höyrystyy höyrystimessä. Imeyttimessä höyry absorboituu liuottimeen ja neste nostetaan korkeampaan painetasoon keittimelle. Imeytintä jäähdytetään, jotta kompensoidaan lauhtumis- ja liukenemislämpö. Keittimessä kylmäaine vapautetaan ja väkevöity liuos palautetaan imeyttimeen paisuntaventtiin ja lämmönsiirtimen kautta. Höyrystimen lämpö saadaan jäähdyttävästä nestevirrasta ja prosessin käyttöenergia keittimelle tuodusta lämmöstä. (Koskelainen ym. 2006, 534.)

4.2 Absorptiolämpöpumppuprosessit

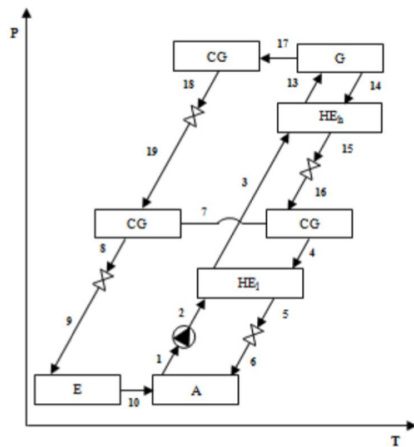
Absorptiolämpöpumppujen teknisiä toteutuksia on useita erilaisia. Absorptiolämpöpumput luokitellaan kolmen eri kriteerin mukaan. Ensimmäinen kriteeri on niiden suunnittelumekanismi, joka jakaa absorptiojäähdyttimet single-effect-lämpöpumppuihin ja double-effect-lämpöpumppuihin. (Sarmasazan Eng. Company.) On myös half-effect-lämpöpumppuja, joita on testattu vain laboratorio-olosuhteissa (Herold, Radermacher & Klein 2016, 176). Toinen kriteeri on lämpöpumppujen lämmönlähde, joka voi olla esimerkiksi kuuma vesi, kuuma ilma tai höyry. Kolmas kriteeri perustuu jäähdyttimen kylmäaineeseen ja absobenttiin. Tässä suhteessa absorptiojäähdyttimet jaetaan kolmeen tyyppiin: veden ja litiumkylmäaineiden kanssa sopiviin jäähdyttimiin, ammoniakkin ja vesijäähdytysaineiden kanssa yhteensopiviin ja piidioksidihöyrykylmäaineiden kanssa yhteensopiviin jäähdyttimiin. (Sarmasazan Eng. Company.)



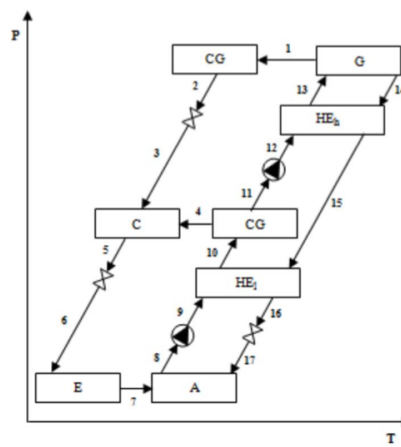
a) half effect



b) single effect



c) double effect in series



d) double effect inverse

KUVA 4. Absorptiolämpöpumpuprosessit (Laitinen ym. 2016)

Yleisin absorptiolämpöpumppu on yksivaiheinen eli single-effect (SE) absorptiolämpöpumppu. SE-absorptiolämpöpumpun etuina ovat sen yksinkertainen tekninen toteutus ja sopivat käyttölämpötilat kaukolämpösovelluksiin. Eri sovelluksista single-effect- sekä half effect-prosesseilla päästään matalimpiin käyttölämpötiloihin. Half-effect-prosessi sopisi käyttölämpötiloiltaan kaukolämpösovelluksiin, mutta sillä on huono kylmäkerroin, joten se ei ole kaukolämpösovelluksissa käytössä. (Laitinen ym. 2016.) Double effect -prosesseissa saavutetaan hyvät kylmäkerroimet, mutta näiden prosessien käyttö vaatii kuitenkin korkeita käyttölämpötiloja (n. 150 °C). Double-effect-prosessit ovat monimutkaisempia muihin prosesseihin verrattuna, sillä prosessiin tuotu lämpö hyödynnetään kahdesti eri keittimissä. Tämä nostaa niiden hankintahintaa. (Koljonen & Sipilä 1998.)

4.3 Aineparit absorptiojäähdytyksessä

Työaineparin absorptiojäähdytyksessä muodostavat kylmä- ja absorptioaine. Yleisimmät käytetyt aineparit absorptiojäähdytyksessä ovat vesi-litiumbromidi (H_2O -Libr) ja ammoniakki-vesi (NH_3 - H_2O). H_2O -Libr-järjestelmässä vesi toimii kylmäaineena ja absorbenttina veden ja litiumbromidin liuos. Sen sijaan NH_3 - H_2O - järjestelmässä vesi toimii absorbenttina ja kylmäaineena toimii ammoniakki. Jäähdytyskoneiden käytännön toteutus ja toiminta, tehokkuus ja investointi- sekä käyttökustannukset riippuvat pitkälti työparin fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Työaineparille asetettavia ominaisuuksia on lukuisia, mutta useat niistä poissulkevat toisensa, joten vaatimuksista tehdään kompromisseja. (Koljonen & Sipilä 1998.) Taulukossa 1 esitetään joitakin työaineparille vaadittuja ominaisuuksia:

TAULUKKO 1. Työaineparin vaadittuja ominaisuuksia (Koljonen & Sipilä 1998)

Kylmäaine	Absorptioaine	Seos
Suuri latentti lämpö Korkea kriittinen lämpötila "Keskisuuri" höyrynpaine Alhainen jähmettymispiste Alhainen viskositeetti	Alhainen höyrynpaine Alhainen viskositeetti	Ei kiinteää faasia Myrkytön Kylmä- ja absorptioaineen hyvä liukoisuus toisiinsa Syttymätön

Korkean kriittisen lämpötilan, alhaisen jähmettymispisteen ja viskositeetin sekä keskisuuren höyrynpaineen lisäksi kylmäaineen yksi toivotuista ominaisuuksista on suuri latenttilämpö tai höyrystymislämpö, sillä nämä ominaisuudet pienentävät massavirtausta. Sen sijaan entalpialla ei ole merkittävää vaikutusta, koska prosessin käyttöenergiana hyödynnetään absorptiolämpöä. Liuosentalpian suuruudella suhteessa puhtaan kylmäaineen höyrystymislämpöön on liuosentalpian absoluuttista arvoa suurempi merkitys. Rektifikaation välttämiseksi kylmä- ja absorptioaineiden kiehumispisteiden välinen ero pitäisi olla riittävän suuri (200–300 K). (Koljonen & Sipilä 1998.)

Yksivaiheisissa absorptioprosesseissa vesi-litiumbromidi-järjestelmä on tehokkaampi samassa sovelluksessa kuin vesi-ammoniakki-järjestelmä. Syyt ovat käyttönesteen ominaisuuksissa. Vesi-ammoniakki-liuoksen ominaislämpö on noin kaksinkertainen verrattuna vesi-litiumbromidi-liuokseen. Lisäksi ammoniakki-vesi-järjestelmät vaativat tyypillisesti tasasuuntajan ja samaa jäähdytystehoa varten vesi-ammoniakki-järjestelmä vaatii suurempia virtausnopeuksia. (Herold ym. 2016, 208-209.)

Vesi-litiumbromidi-absorptiojäähdyttimissä kylmäaineena toimii vesi ja sen käyttö on sen vuoksi rajoitettu yli 0 °C lämpötiloihin (Herold ym. 2016, 5). Koska vedellä on alhainen höyrynpaine, absorptiojäähdytin toimii alipaineessa (Bäckström 2022). Sen sijaan ammoniakki-vesi-absorptiojäähdyttimissä kylmäaineena toimii ammoniakki, jonka jäätymislämpötila on -77,7 °C (Herold ym. 2016, 5). Tämän vuoksi sitä voidaan käyttää, kun halutaan alle 0 °C jäähdytyslämpötilaa. Ammoniikki-vesi-absorptiojäähdyttimet toimivat korkeissa paineissa ja paine-erot ovat suuria. Lisäksi ammoniakki-vesi-absorptiojäähdytintä käytettäessä tarvitaan höyrynpuhdistusjärjestelmä, koska komponenttien kiehumispisteet ovat lähellä toisiaan. Ammoniikki-vesi-absorptiojäähdyttimien ongelmana on ammoniakkin myrkyllisyys. (Bäckström 2022).

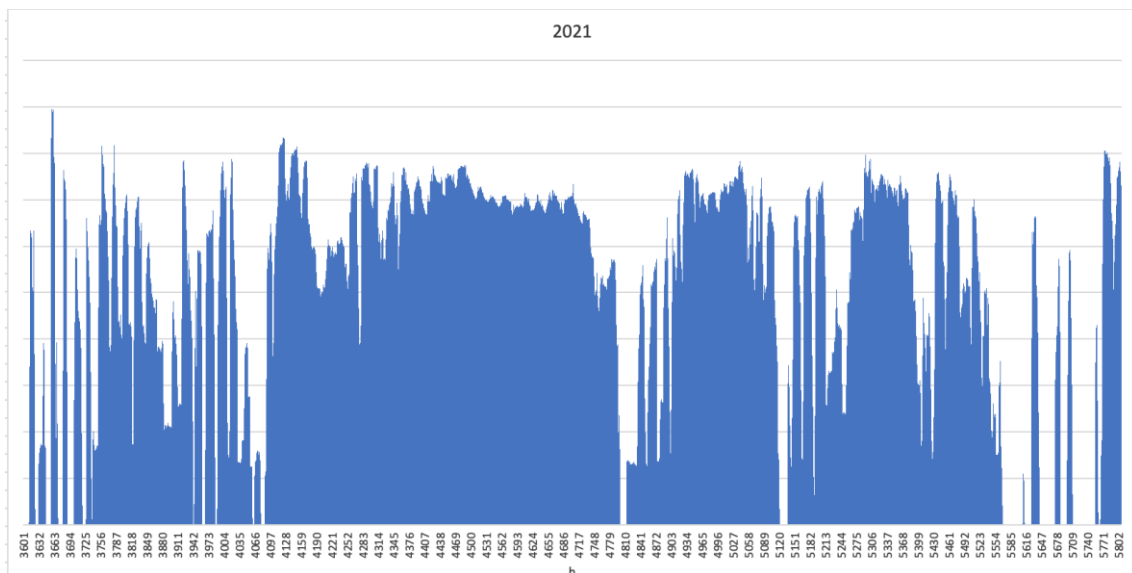
4.4 Absorptiojäähdyttimen edut ja ongelmat

Rakennusten jäähdytyksessä jopa yli 90 % sovelluksista on toteutettu kompressorijäähdytyksellä (Laitinen ym. 2016). Kompressorijäähdyttimet ovat energiatehokkaampia kuin absorptiojäähdyttimet, mutta esimerkiksi absorptiojäähdyttimien sähkötehotarve on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi moottorikäyttöisten höyrykompressorijäähdyttimien. Lisäksi absorptiojäähdyttimet eivät tuota niin paljon melua ja tärinää höyrykompressorijäähdyttimiin verrattuna. (Sakraida 2009.) Absorptiojäähdyttimissä ei ole nopeasti liikkuvia osia, joka tekee niiden ylläpidosta halpaa ja helppoa. Absorptiojäähdytysjärjestelmät ovat myös erittäin kestäviä ja niiden käyttöikä on noin 20–30 vuotta. On-off-toiminnan aikana absorptiojäähdyttimissä ei synny kiertohäviöitä toisin kuin perinteisissä höyrykompressorijäähdyttimissä. Monista eduista huolimatta absorptiotekniikassa on myös ongelmakohtia. Jäähdytysyksiköt ovat yleensä kooltaan liian suuria ja niiden suorituskykykerroin (COP) on alhainen. (Nikbakhti ym. 2020.) Esimerkiksi Calefa Oy:n toimittamien absorptiojäähdyttimien tyypillinen COP-arvo on välillä 0,7–1,0 (Motiva 2019).

5 YLIJÄÄMÄLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOJÄÄHDYTYKSESSÄ

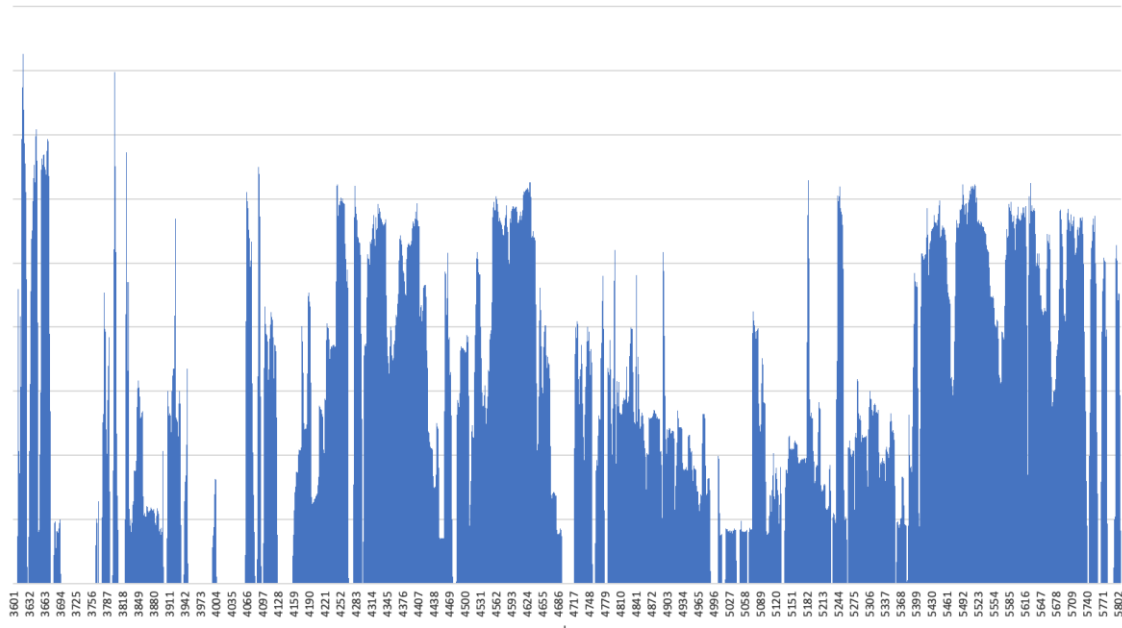
5.1 Ylijäämälämmön sijoittuminen jäähdytystarpeen piikkeihin

Oulun Energian asiakkaan suurimmat jäähdytystarpeet sijoittuvat kesä- ja elokuun väliselle ajalle. Työssä tarkasteltiin, onko kaukolämpöverkossa tällöin hyödynnettävissä ylijäämälämpöä absorption avulla tuotettavaan kaukojäähdytykseen. Tarkastelussa käytettiin vuosia 2021 ja 2022, jotta saadaan laajempaa informaatiota. Kuvassa 5 esitetään vuoden 2021 ylijäämälämmön määrä kesä-elokuun ajalta.



KUVA 5. Ylijäämälämmön määrän tuntiprofiili vuonna 2021

Vuonna 2021 ylijäämälämpöä johdettiin vesistöön apujäähdyttimen avulla paria päivää elokuussa lukuun ottamatta joka päivä. Heinäkuussa ylijäämälämpöä ajettiin vesistöön eniten ja elokuussa vähiten. Kuvassa 6 esitetään vuoden 2022 ylijäämälämmön tuntiprofiili.



KUVA 6. Ylijäämälämmön määrän tuntiprofilii vuonna 2022

Vuonna 2022 vesistöön ajettiin ylijäämälämpöä apujäähdyttimen avulla kesäkuussa vähiten ja elokuussa eniten. Ylijäämälämpöä ajettiin vesistöön joka päivä lukuun ottamatta kuutta päivää kesäkuussa.

Ylijäämälämmön ajaminen vesistöön sijoittui Oulun Energian asiakkaan jäähdytstarpeiden mukaisesti molempina vuosina, joten ylijäämälämpöä pystyttäisiin hyödyntämään absorption avulla kaukojäähdytykseen esimerkkivuosien pohjalta.

5.2 COP-kerroin

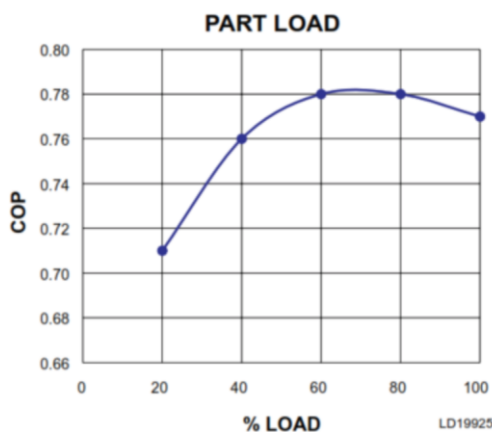
COP-arvo (Coefficient of Performance) kuvaa absorptiolämpöpumpun hyötysuhdetta. COP-arvo on systeemin käyttämän lämpöenergian ja systeemiin tuodun lämpöenergian suhde:

$$\eta = \frac{Q_L}{Q_H} \quad \text{KAAVA 1}$$

Teoreettisen absorptiojäähdyttimen voidaan ajatella olevan lämpöpumpun ja lämpövoimakoneen kombinaatio. Ideaalinen ja reversiibeli lämpöpumppu ja lämpövoimakone ovat Carnot-kiertoprosesseja. Paras hyötysuhde saavutetaan, kun lämpöä tuodaan vain maksimilämpötilassa ja poiste-

taan ainoastaan minimilämpötilassa. Näiden lämpötilojen välillä ei tulisi myöskään tapahtua lämmönsiirtoja. Käytännössä Carnot-prosessien hyötysuhdetta pienentävät irreversiibelisyyttä aiheuttavat ilmiöt, kuten lämpötilagradientit lämmönsiirrossa, konsentraatiogradientit aineensiirrossa, viskositeetin aiheuttama kitka sekä kaasun kuristus tai paisunta. (Koljonen & Sipilä 1998.)

Absorptiojäähdyttimen voi mitoittaa joko täysi- tai osateholle. Usein osateholle mitoittaminen on järkevää, koska jäähdytystarvehuippuja on vuodessa vähän. Kuvassa 7 esitetään osatehojäähdyttimen COP-arvo suhteessa osatehoon.



KUVA 7. Osatehoisen jäähdyttimen COP-arvo suhteessa osatehoon (Asoranta 2023)

5.3 Absorptiojäähdyttimen hyödyntämän ylijäämälämmön määrä jäähdytykseen

Yksi absorptiojäähdytin 0,79 COP-arvolla pystyy hyödyntämään 79 % saatavilla olevasta ylijäämälämmöstä jäähdytykseen. Kaksi absorptiojäähdytintä pystyy hyödyntämään ylijäämälämpöä kaksinkertaisesti yhteen jäähdyttimeen verrattuna. Esimerkiksi korkeimmatkin Oulun Energian asiakkaan jäähdytyspiikit voitaisiin jäähdyttää 100 %:sti ylijäämälämmöllä, sillä kahden absorptiojäähdyttimen hyödyntämän ylijäämälämmön määrä on suurempi kuin korkeimmat jäähdytyspiikit.

5.4 Absorptiojäähdyttimen pysäytys- ja käynnistysajat

Absorptiojäähdyttimillä on hitaat käynnistys- ja pysäytysajat (Asoranta 2023). Absorptiojäähdyttimellä menee noin 20–30 minuuttia käynnistyä 0 %:sta 100 %:iin. Kuvassa 8 esitetään absorptiojäähdyttimen käynnistysaika.

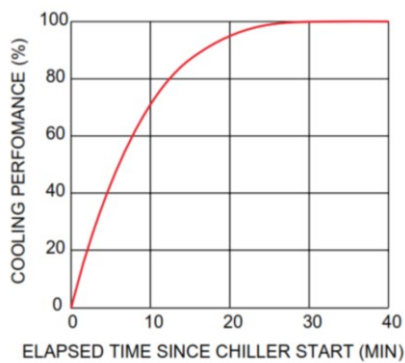


FIGURE 3 - RAMP UP TIMING

LD278

KUVA 8. Absorptiojäähdyttimen käynnistysaika (Asoranta 2023)

Hitaiden käynnistys- ja pysäytysaikojen vuoksi absorptiojäähdyttimen pitäisi olla käynnissä mahdollisimman paljon. Absorptiojäähdyttimelle tulisi olla kuormaa jatkuvasti, ettei sitä tarvitsisi pysäyttää. (Asoranta 2023.) Kuvassa 9 esitetään absorptiojäähdyttimen pysäytysaika.

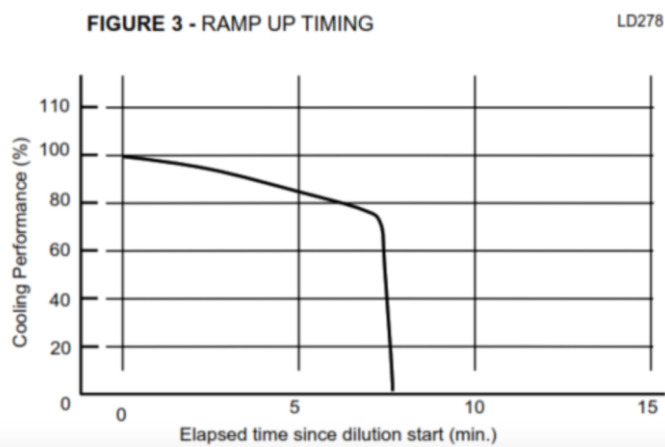


FIGURE 3 - RAMP UP TIMING

LD278

KUVA 9. Absorptiojäähdyttimen pysäytysaika (Asoranta 2023)

Absorptiojäähdyttimen pysäytykseen 100 %:sta 0 %:iin kestää noin 7–8 minuuttia. Pysäytys on hidasta sen vuoksi, että laite ajaa itsensä tilaan, jossa LiBr-liuoksen kristallisoituminen saadaan estettyä (Asoranta 2023).

6 ABSORPTIOJÄÄHDYTTIMEN LÄMPÖTILATASEET

Oulun Energian asiakkaan jäähdytys voidaan toteuttaa kahdella 60 % osateholle mitoitettulla SE-absorptiojäähdyttimellä, joiden COP-arvo on 0,79. Absorptiojäähdyttimien työaineparina toimii vesilitiumbromidi. Absorptiojäähdyttimien rinnalle voidaan laittaa tehonsäätökone nopeita jäähdytystarpeen vaihteluita varten. Jos säätö ei ole tarpeeksi nopea, verkostoon lähtevän veden lämpötila voi vaihdella (Ahosalo 2023). Tehonsäätökoneena voidaan käyttää esimerkiksi turbokompressorilla varustettua jäähdytintä, mutta sen käyttöä voi rajoittaa PFAS-yhdisteiden ja F-kaasujen käyttöä rajoittavat päätökset.

6.1 Suunnittelupaineet ja -lämpötilat ja mitoituslämpötilat

Suunnittelupaine- ja lämpötila ovat arvoja, jotka vaikuttavat laitteen rakenteelliseen lujuuteen. Kun lämpötila nousee, materiaalin paineen kesto yleensä pienenee. Jäähdyttimet täytyy mitoittaa vähintään sille suunnittelupaineelle, mille energialaitos on mitoittanut verkoston.

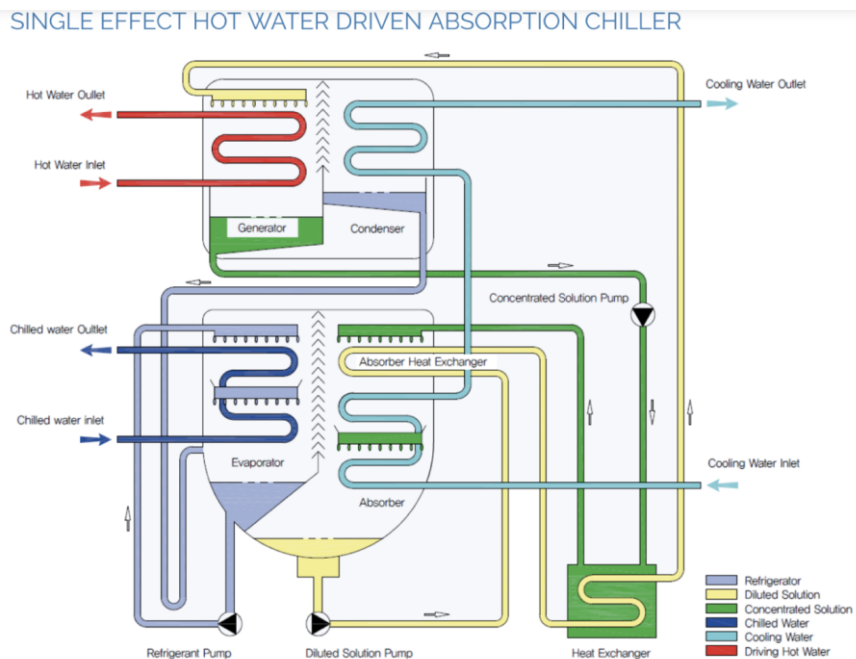
Mitoituslämpötiloilla tarkoitetaan arvoja, joilla laitteen lämmönsiirtimet saadaan toimimaan suunnitellusti. Tässä työssä absorptiojäähdyttimen käyttöenergiana on kuuma vesi, joten vaihdin mitoitetaan alhaisimman tulevan veden lämpötilan mukaan, jotta sen teho riittää myös kuumimmilla keleillä. Kun säät viilenee syksyllä, kuumen veden lämpötila nousee. Tällöin koneen teho kasvaa ja virtaamaa pitää joko rajoittaa tai shuntata tuleva vesi mitoituslämpötilaan, jotta litiumbromidi ei kristalloiduu tai jäähdytetty vesi jäädy. Tässä tapauksessa jäätymisvaaraa ei ole, koska jäähdytetyn veden lämpötilatasot ovat 15 °C/ 10 °C. Jäätymisvaara voisi syntyä, jos jäähdytetyn veden tulo-lämpötila olisi 5 °C. (Asoranta 2023.)

Absorptiojäähdyttimen mitoituksessa käytettiin höyrystimen suunnittelupaineena 16 baria, joka on Oulun Energian verkoston suunnittelupaine. Lauhduttimen suunnittelupaineena käytettiin 10 baria ja lämpötilana käytettiin korkeinta Oulujoessa esiintyvää lämpötilaa, joka on 24 °C. Lauhdutusveden lämpötilaa täytyy shuntata niin, että se on normaalikäytössä vähintään 20 °C. Tämä estää kristallisoitumisen. Käynnistysvaiheessa laitteelle voidaan ajaa hetkellisesti myös kylmempää vettä, joka sitten lämpenee. Tämä tosin edellyttää sitä, että kone on tätä ennen ajettu pysäytystilaan

hallitusti. (Asoranta 2023.) Generaattorin suunnittelupaineena käytettiin 16 baria ja suunnittelulämpötilana 120 °C, joka on kaukolämpöverkoston suunnittelulämpötila. Mitoituksessa tarvittiin myös kuuman kaukolämpöveden lämpötila kesällä, joka on 73 °C. Tämä arvo saatiin laskemalla kaukolämpöveden keskiarvo vuoden 2021 ja vuoden 2022 kesä-elokuun ajalta. Jäähdytysveden lämpötiloina käytettiin 15 °C/10 °C ja jäähdytystehona 3000 kW.

6.2 Absorptiojäähdyttimien lämpötilataseet

Absorptiojäähdyttimien käyttöenergiana toimivan ylijäämälämmön tulolämpötilana on tämän opinnäytetyön mitoituksien mukaan 73 °C (hot water inlet) ja paluulämpötilana 64 °C (hot water outlet).. Jäähdytetyn veden tulo- ja paluulämpötilat ovat 15 °C (chilled water inlet) ja 10 °C (chilled water outlet). Jäähdytysveden tulolämpötila (cooling water inlet) on 24 °C ja paluulämpötila (cooling water outlet) on 29 °C. (Liite 1.) Kuvassa 9 esitetty SE-absorptiojäähdyttimen kierto.



KUVA 9. Single-effect- absorptiojäähdyttimen kierto (World Energy)

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka kaukolämpöverkossa olevaa lämpöenergiaa pystytään hyödyntämään absorptio-avulla kylmätuotannossa. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin absorptioteknologiaa ja selvitettiin, millaiset lämpötilataseet Oulun Energian asiakkaan jäähdytystarpeille sopivalla absorptiojäähdyttimellä on.

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu jäähdyttimessä käytettävän työaineparin ominaisuuksiin ja siihen, miten ainepari käyttäytyy liuksena. Työaineparin absorptiojäähdytysprosessissa muodostavat kylmä- ja absorptioaine. Absorptiokone on peruskuormakone, jolla täytyy olla kuormaa jatkuvasti, ettei sitä tarvitse pysäyttää. Absorptiojäähdyttimellä menee käynnistykseen 20–30 minuuttia ja pysäytykseen noin 7–8 minuuttia.

Oulun Energian kaukolämpöverkossa on kesä-elokuun aikana ylijäämälämpöä, jota ajetaan lähes joka päivä kesäisin apujäähdyttimen avulla vesistöön. Tätä ylijäämälämpöä voidaan käyttää absorptio-avulla Oulun Energian asiakkaan jäähdytykseen, sillä Oulun Energian asiakkaan jäähdytyspiikit sijoittuvat samalle ajanjaksolle. Kuumen kaukolämpöenergian lisäksi absorptiojäähdyttimen toimimiseen vaaditaan lauhdutukseen käytettävä välijäähdytys sekä jäähdytettävä virta. Välijäähdytyksenä eli jäähdyttävänä vesivirtana toimii Oulujoen vesi.

Oulun Energian asiakkaan jäähdytyksen voi toteuttaa kahdella SE-absorptiojäähdyttimellä, joiden työaineparina toimii vesi-litiumbromidi. Kaksi COP-arvoltaan 0,79 absorptiojäähdytintä pystyy hyödyntämään kaukolämpöverkossa olevan ylijäämälämmön 100 %:sti. Absorptiojäähdyttimien rinnalle tulee laittaa tehonsäätökone nopeita jäähdytystarpeen vaihteluita varten, sillä absorptiojäähdyttimien pysäytys- ja käynnistysajat ovat hitaita. Tehonsäätökoneena voisi toimia esimerkiksi turbokompressorilla varustettu jäähdytin. Tämän käyttöä voivat kuitenkin rajoittaa PFAS-yhdisteiden ja F-kaasujen käyttöä rajoittavat päätökset.

LÄHTEET

Asoranta, Jouni 2023. Kylmälaitossuunnittelija. Johnson Controls Finland Oy. Sähköposti-keskustelu 10.3.2023-25.5.2023.

Bäckström, Soile 2022. Prizztech hukkalämpöselvitys. Ramboll Finland Oy. Hakupäivä 12.3. 2023. https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/ramboll_hukkalamposeelvitys_loppuraportti.pdf.

Energiamailma. Kaukolämpö ja -jäähdytys. Suomi on kaukolämmön edelläkävijä. Hakupäivä 19.3.2023. <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>.

Energiateollisuus 2016. Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Hakupäivä 10.3.2023. https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf.

Herold, Keith E, Radermacher, Reinhard & Klein, Sanford A. 2016. Second edition Absorption chillers and heat pumps. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Koljonen, Tiina & Sipilä, Kari 1998. Uudemman absorptiotekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. VTT-tiedotteita. VTT Energia. Hakupäivä 10.2.2023. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>.

Koskelainen, Lasse, Saarela, Pauli & Sipilä, Kari 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki. Energiateollisuus ry.

Kuopion Energia. Kaukojäähdytys- energiatehokasta viileyttä. Hakupäivä 13.3.2023. https://www.kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2018/10/KE_Kaukojaahdytys_presentaatio_26102018.pdf.

Laitinen, Ari, Rämä, Miika & Airaksinen, Miimu 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. VTT-selvitys. VTT Energia. Hakupäivä 12.2.2023. https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaseelvitys_VTT_221216.pdf.

LVI 34-10462 2010. Kiinteistöjen kaukojäähdytys. Rakennustieto. RT-ohjekortit. Hakupäivä 10.3.2023. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/resource/juha/content/11037#page=1>. Vaaditaan lisenssiä.

Lyytikäinen, Kalle 2020. Lämpöpalvelut. Mikä on oikea lämpöpumppu minulle? Hakupäivä 5.5.2023. <https://lampopalvelut.fi/mika-on-oikea-lampopumppu-minulle/>.

Motiva Oy 2022. Kaukolämmön tuotanto uudistuu. Hakupäivä 15.3.2023. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kauko-lampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu.

Motiva Oy 2019. Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. Hakupäivä 27.5.2023. https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf.

Motiva Oy 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Ylijäämälämpöenergia-analyysit. Hakupäivä 17.5.2023. https://www.motiva.fi/files/10216/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Ylijaamalamponenergia-analyysit.pdf.

Nikbakhti, Rasoul, Wang, Xiaolin, Hussein, Ahmed Kadhim& Iranmanesh 2020, Aghil. Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement. Alexandria University. Alexandria Engineering Journal. Hakupäivä 27.5.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820300375>.

Oulun Energia. Kaukolämpö. Hakupäivä 1.5.2023. <https://www.ouluenergia.fi/palvelumme/kauko-lampo/#kaukolampoon-liittyminen>.

Oulun Energia. Oulun Energia pähkinänkuoressa. Hakupäivä 1.5.2023. <https://www.ouluenergia.fi/ouluenergia/tietoa-meista/>.

Rämä, Miika& Klobut, Krzysztof 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. VTT energia. Asiakasraportti. Hakupäivä 27.3.2023. https://energia.fi/files/4831/Hukkalampo_kaukolampojarjestelmissa_-_maarittely_ja_luokittelu_VTT_2020.pdf.

Sakraida, Vincent A 2009. Basics for absorption chillers. Engineered systems. Hakupäivä 7.5.2023. <https://www.esmagazine.com/articles/82307-basics-for-absorption-chillers>. Vaaditaan kirjautumista.

Sarmasazan jamejam eng. company. What is an absorption chiller? Hakupäivä 27.3.2023. <https://sarmasazan.co/en/what-is-an-absorption-chiller/>.

Tuomenoja, Markku 2020. Hukkalämmöstä jäähdytystä – mitä on kaukokylmä? AFRY. Hakupäivä 14.4.2023. <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/hukkalammosta-jaahdytysta-mita-kaukokylma>.

World Energy. HWAR-L Single effect hot water absorption chiller. Hakupäivä 26.5.2023. <http://worldenergy.co.kr/en/portfolio-item/hwar-l-2/>.

YORK ABSORPTION CHILLER



Project Name : Oulu Energia, Finland

YORK (Wuxi) Air Conditioning and Refrigeration Co., Ltd.
24-May-23

Single-Effect Hot Water Type

Quotation No. : S002-rev0

I. Specifications

Model	YHAU-CH1120EXW4S		Qty	1
Cooling Capacity	3,000 kW	853.2 USRT	(	10,238 MBH)
COP	0.79			
Chilled Water	Fluid	Fresh Water		
	Temperature	Inlet 15.0 degC(59.0 degF)	Outlet	10.0 degC(50.0 degF)
	Flow Rate	516.0 m ³ /h	(	2,272 GPM)
	Pipe Diameter (DIN PN16)	Inlet 250 A	Outlet	250 A 3 Passes
	Pressure Drop	65 kPa	(	22 ft Aq)
	Max.Working Press.	1,600 kPa.G	(	16.0 bar.G)
	Fouling Factor	0.0180 m ² K/kW	(	0.00010 ft ² h F/BTU)
Cooling Water	Fluid	Fresh Water		
	Amount of heat	6,798 kW	(	23,200 MBH)
	Temperature	Inlet 24.0 degC(75.2 degF)	Outlet	29.0 degC(84.2 degF)
	Flow Rate	1169.2 m ³ /h	(	5,148 GPM)
	Pipe Diameter (DIN PN10)	Inlet 400 A	Outlet	400 A 2 Passes
	Pressure Drop	48 kPa	(	16 ft Aq)
	Max.Working Press.	1,000 kPa.G	(	10.0 bar.G)
Fouling Factor	0.0440 m ² K/kW	(	0.00025 ft ² h F/BTU)	
Driving Hot Water	Fluid	Fresh Water		
	Amount of heat	3,798 kW	(	12,960 MBH)
	Temperature	Inlet 73.0 degC(163.4 degF)	Outlet	64.0 degC(147.2 degF)
	Flow Rate	370.4 m ³ /h	(	1,631 GPM)
	Pipe Diameter (DIN PN16)	Inlet 300 A	Outlet	300 A 2 Passes
	Pressure Drop	12 kPa	(	4 ft Aq)
	Max.Working Press.	1,600 kPa.G	(	16.0 bar.G)
Fouling Factor	0.0180 m ² K/kW	(	0.00010 ft ² h F/BTU)	
Capacity Control Range	100% Approx. 20%			
Electric Power	Power Source	3 Ph 3 Wires	AC 400 V ±10%	50 Hz ±1Hz
	Motor Output	Solution Pump 7.5+3.7 kW	Refrigerant Pump	1.5 kW
		Vacuum Pump 0.75 kW		
	Power Consumption	20.0 kW		
Capacity	25.0 kVA			
Weight	Operating	40.9 ton	Shipping	33.7 ton
			Emergency	73.3 ton
	Insulation Area Approx.	Cold 44 m ²	Hot	44 m ²
Water Volume	Chilled 2.29 m ³	Cooling	3.81 m ³	Driven Hot 1.80 m ³
Painting Color	Chiller Unit	Munsell 4.65BG 4.50/2.85 (Finish coating)		
	Control Panel	Munsell 4.65BG 4.50/2.85 (Inside, Outside)		
Dimensions	Overall (For Reference)	L= 7,000 mm	W= 3,300 mm	H= 3,900 mm
	Tube Extracting Space	5,700 mm		

2. Operating Condition

Application	For General Air-Conditioning	Pressure Vessel (PED Code)	PED Cat. IV (Driving hot water), PED Cat. I (Chilled Water)
Installation Condition	Indoors / Non-Explosion-Proof		

3. Option

1	Max. working pressure for chilled water 1600kPa
2	Max. working pressure for hot water 1600kPa
3	SUS436L tube (0.6mm thickness) for evaporator
4	S22053 tube (0.8mm thickness) for absorber and condenser
5	Design temperature for hot water 120degC
6	
7	
8	

4. Note

- This equipment shall be manufactured based on GB/T 18431(2014) and CE(MD,EMC,PED).
- Chilled/Hot water and Cooling water quality should be controlled in accordance with GB/T 18431(2014).
- The other items shall be manufacturer standard specifications and scope of supply.
- Pressure drop of driven hot water line is indicated as pressure drop in chiller unit only, therefore this value does not include pressure drop caused by driven hot water control valve.