

Henri Pitkänen

**ABSORPTIOLÄMPÖPUMPULLA  
TUOTETUN KAUKOJÄÄHDYTYKSEN  
SOVELTUVUUS KUOPION  
HAAPANIEMEN VOIMALAITOKSELLE**

Opinnäytetyö  
Talotekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Henri Pitkänen	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukojäähdytyksen soveltuvuus Kuopion Haapaniemen voimalaitokselle		33 sivua 1 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kuopion Energia Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Jarmo Tuunanen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän Kuopion Energia Oy:n toimeksiantaman opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukojäähdytyksen soveltuvuutta Kuopion Haapaniemen voimalaitokselle. Selvitykseen sisältyi potentiaalisten asiakkaiden ja niiden tehontarpeiden laskentaa, runkoputkien sijoittelun suunnittelua, sopivan absorptiolämpöpumpun valinta ja sijoittelu, sekä kustannuslaskentaa. Lisäksi laskettiin suuntaa-antavat takaisinmaksuajat eri skenaarioihin, josta voitiin arvioida absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukolämmön kannattavuutta tutkittuun tilanteeseen.</p>		
<p>Absorptiolämpöpumpuilla tuotettava jäähdytystehontarve laskettiin kolmella eri laskentavallalla: Energiateollisuus ry:n antamilla arvoilla, Valtion teknologian tutkimuskeskuksen antamilla arvoilla sekä vuoden 2016 kaukojäähdytystilastoista saaduilla keskimääräisillä arvoilla. Kaukojäähdytystilastoista saaduilla arvoilla lasketut tehontarpeet olivat lähimpänä olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoa. Myös tuotantotehon laskentaa ajatellen tätä voitiin pitää luotettavimpana, sillä se ottaa huomioon erilaiset jäähdytyksen käyttäjät.</p>		
<p>Tutkimuksen tuloksena voitiin todeta, että liittyjiä pitää saada tutkitulta alueelta noin 50–60 %, jotta investoinnin takaisinmaksuaika olisi kohtuullinen. Investoinnin riskit ovat siis suuret verrattuna siitä saatavaan tuloon. Absorptiolämpöpumppu sopii tutkittuun tilanteeseen paremmin, jos voimalaitoksella tuotettaisiin kesäaikaan hukkalämpöä pienen lämmityskuorman takia. Tällöin kaikki hukkalämmöstä saatava energia olisi hyötykäytetty kaukojäähdytykseen ja tuotannon kannattavuus nousisi.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
kaukojäähdytys, absorptiojäähdytys, voimalaitos		

Author (authors)	Degree	Time
Henri Pitkänen	Bachelor of Engineering	April 2018
<b>Thesis Title</b>		
Suitability of absorption based district heating to power plant at Haapaniemi, Kuopio		33 pages 1 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Kuopion Energia Oy		
<b>Supervisor</b>		
Jarmo Tuunanen		
<b>Abstract</b>		
<p>This bachelor's thesis commissioned by Kuopion Energia Oy, is about solving the suitability of absorption based district heating to power plant at Haapaniemi, Kuopio. Research includes explanation of potential customers and calculation of power needs, location of the cooling pipeline, cost accounting and choosing a suitable absorption heat pump and its location. In addition, indicative payback times were calculated in different scenarios, from which it was possible to estimate the profitability of the district heat produced by the absorption heat pump in the investigated situation.</p> <p>The cooling power demand generated by the absorption heat pumps was calculated by three different calculation ranges: the values given by the Finnish Energy Industries Association, the values given by the State Technology Research Center and the average values obtained from the district cooling statistics for 2016. The power requirements calculated from the values obtained from district cooling statistics were closest to the power of existing refrigeration equipment. With regard to the calculation of production power, this could be considered the most reliable as it takes different cooling users into account.</p> <p>As a result of the study, it was noted that the amount of customers should be about 50-60% of the surveyed area, so that the repayment period of the investment would be reasonable. Thus, the risks of investing are high compared to the earnings. The absorption heat pump is better suited to the tested situation if the power plant would produce waste heat during the summer due to the small heating load. In this case, all the energy from the waste heat would be utilized for district cooling and profitability would increase.</p>		
<b>Keywords</b>		
district cooling, absorption cooling, power plant		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KAUKOJÄÄHDYTYS.....	6
2.1	Kaukojäähdytys Suomessa.....	8
3	ABSORPTIOJÄÄHDYTTIMEN TOIMINTA.....	9
3.1	Yksivaiheinen absorptiolämpöpumppu.....	9
3.2	Kaksivaiheinen absorptiolämpöpumppu.....	11
3.3	Yleisimmin käytetyt kylmäaineet.....	12
4	KUOPION ENERGIA OY.....	13
4.1	Haapaniemen voimalaitos.....	14
5	TUTKITTAVAT JÄÄHDYTYSALUEET.....	18
6	TEHO- JA ENERGIALASKENTA.....	19
7	TULOKSET.....	23
7.1	Absorptiolämpöpumpun mitoitus ja valinta.....	23
7.2	Absorptiolämpöpumppujen ja jäähdytysputkiston sijoittelu.....	24
7.3	Kustannukset.....	26
7.4	Takaisinmaksuaika.....	29
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	

Liite 1. Valitun absorptiolämpöpumpun tiedot

## 1 JOHDANTO

Sisäilmastovaatimukset ovat ajan myötä kasvaneet, ja ihmiset ovat tottuneet parempaan sisäilmastoon. Jäähdytys on tärkeä osa sisäilman viihtyisyyttä, ja kaukojäähdytys tarjoaa kustannustehokkaan, ympäristöystävällisen ja luotettavan vaihtoehdon sisäilman jäähdyttämiseen.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukojäähdytyksen soveltuvuutta Kuopion Haapaniemen voimalaitokselle. Selvitykseen sisältyy potentiaalisten asiakkaiden ja niiden tehontarpeiden selvitys, runkoputkien sijoittelun suunnittelua, sopivan absorptiolämpöpumpun valinta, kustannuslaskentaa ja lämpöpumpun sijoittelun suunnittelua. Lisäksi lasketaan suuntaa-antavat takaisinmaksuajat eri skenaarioihin, josta voidaan arvioida absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukolämmön kannattavuus tutkittuun tilanteeseen.

Tutkimukseen tarvittavaa tietoa saadaan Kuopion Energia Oy:n työntekijöiltä, tutkittavilla alueilla sijaitsevien rakennusten isännöitsijöiltä sekä absorptiolämpöpumppuja valmistavilta yrityksiltä. Teoriaosuuksiin tarvittavaa tietoa saadaan internetin lähteistä ja kirjallisuudesta.

Jäähdytystehontarpeen ja jäähdytysenergiatarpeen laskenta tapahtuu Energiatallisuus ry:n antamalla rakennustyyppikohtaisilla arvoilla sekä kaukojäähdytystilastoihin perustuvilla arvoilla. Laskettuja tehontarpeita verrataan olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoihin, ja valitaan laskentatavaksi se, jolla lasketut tehontarpeet ovat lähimpänä olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoja. Olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehotietoja saatiin ottamalla yhteyttä kiinteistöjen isännöitsijöihin ja tutustumalla kiinteistöjen jäähdytyslaitteisiin.

Työssä tutkitaan absorptiojäähdyttimen käyttömahdollisuuksia Haapaniemen voimalaitokselle. Absorptiojäähdyttimen sopivuutta muihin tilanteisiin tai kohteisiin ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Muita jäähdytystapoja ei oteta huomioon muutoin kuin absorptiojäähdyttimen etuja ja haittoja pohtiessa.

Käytettäväksi veden liuospariksi huomioidaan vain kaksi yleisintä vastaavanlaisissa käyttötarkoituksissa käytettyä ainetta, litiumbromidi ja ammoniakki, joten laajempaa kylmäainetutkimusta ei tehdä. Tutkimuksessa ei selvitetä kaukojäähdytykseen haluavia asiakkaita, vaan selvitetään Kuopion Energian kannalta potentiaaliset asiakkaat ja lasketaan tehontarpeet rakennusten tilavuuksien ja kerrosalojen mukaan.

## 2 KAUKOJÄÄHDYTYS

Kaukojäähdytys (ts. kaukokylmä) tarkoittaa keskitetysti tuotettavan jäähdytetyn veden jakelua, jota siirretään putkiverkostolla rakennusten jäähdytykseen ilmastoinnin kautta. Kaukojäähdytys sopii parhaiten tiiviisti rakennetulle alueelle, jossa jäähdytyksen tarve on suurta. Tällöin jäähdytysputkiston rakentamisen kustannukset eivät kasva kohtuuttoman suuriksi.

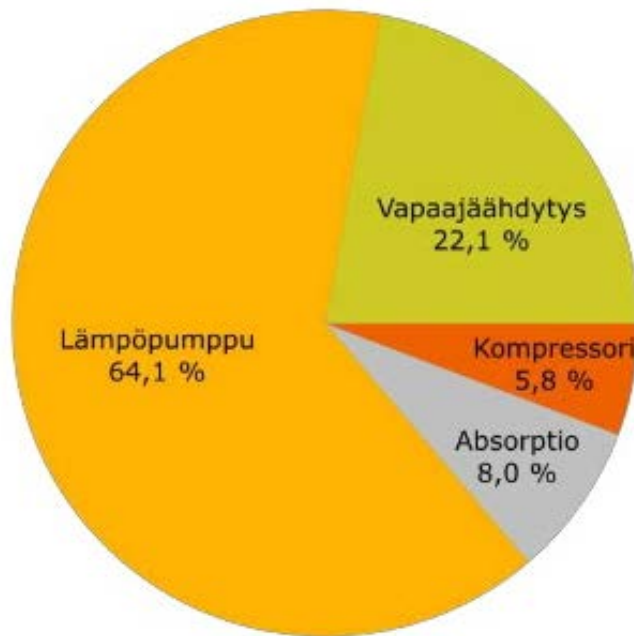
Keskitetyn jäähdytystuotannon etuja ovat tehokas energian käyttö ja parempi jäähdytysprosessin hyötysuhde, kun verrataan sähköllä toimiviin, kiinteistökohtaisiin jäähdytysjärjestelmiin [4, s.529]. Hyötysuhde eli COP-arvo (Coefficient of Performance) tarkoittaa systeemin käyttämän energian ja systeemistä saadun energian suhdetta [6]. Esimerkiksi jos COP-arvo on 3, saadaan 1 kilowatilla tuotettua 3 kilowattia. Mitä suurempi COP-arvo on, sitä parempi energiatehokkuus. Kiinteistön jäähdyttämiseen kuluva sähkönkulutus voi olla jopa 90 % pienempi. Kaukojäähdytys on myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto; kasvihuonekaasujen, typen oksidien, rikkidioksidin ja hiukkaspäästöjen määrä on huomattavasti pienempi, kuin kiinteistökohtaisissa jäähdytysjärjestelmissä. [4, s.529.]

Kaukojäähdytystä tuotetaan yleisimmin neljällä eri tuotantotavalla, jotka näkyvät kuvassa 1. Suomessa yleisin kaukojäähdytyksen tuotantotapa on lämpöpumppujäähdytys, jota käytetään 64 % tapauksista [1]. Lämpöpumpussa on yksinkertaisimmillaan lauhdutin, höyrystin, kompressori ja paineenalennusventtiili. Järjestelmässä kiertävä kylmäaine on vuoroin nestettä ja höyryä. Tämä mahdollistetaan kontrolloimalla järjestelmän painetta ja lämpötilaa kompressorilla ja paineenalen-

nuksella. Kylmäaineen tiivistyessä lauhduttimessa höyrystä nesteeksi, se luovuttaa lämpöä, kun taas kylmäaineen muuttuessa nesteestä höyryksi höyrystimessä, se sitoo energiaa eli jäähdyttää ympäröivää tilaa.

Toiseksi yleisin jäähdystystapa Suomessa on vapaajäähditys 22 prosentilla. Vapaajäähdityksessä hyödynnetään joista, järvistä ja meristä saatavaa kylmää vettä. Vapaajäähditystä ei siis saada pienistä ja matalista vesistöistä, vaan siihen vaaditaan syvää vesistöä, jossa veden lämpötila on noin 6-8 °C.

Suomen kolmanneksi käytetyin jäähdystystapa on absorptiolämpöpumput 8 prosentilla. Vähiten käytetty tuotantotapa on kompressorijäähditys, jonka osuus on 6 prosenttia. [2.]

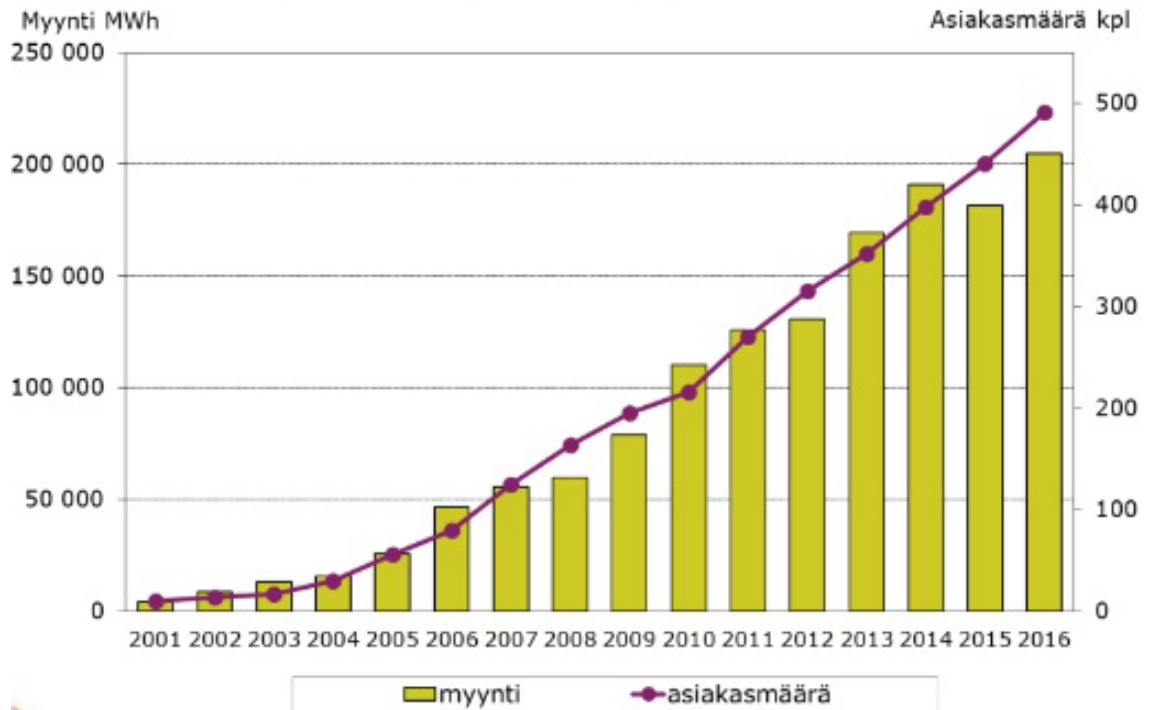


Kuva 1. Jäähditysenergian tuotanto Suomessa [1]

Euroopassa jäähdystysmarkkinoiden arvioidaan kasvavan nykyisestä 330 TWh:sta 500 TWh:iin vuoteen 2030 mennessä. Tästä kaukojäähdityksen osuus on noin yksi prosentti. Eniten kaukojäähditystä vuoden aikana tuottavia maita ovat Ranska (0,9 TWh), Ruotsi (0,9 TWh), Saksa (0,3 TWh), Suomi (0,19 TWh) ja Norja (0,15 TWh). [8.]

## 2.1 Kaukojäähdytys Suomessa

Kaukojäähdytyksen myynti on ollut nousussa Suomessa. Kuvasta 2 nähdään, että kaukojäähdytyksen myynti on kasvanut viidessä vuodessa yli 60 prosenttia ja asiakkaiden määrä yli 80 prosenttia. [1.]



Kuva 2. Jäähdytysenergian myynti ja asiakasmäärä [1]

Kaukojäähdytystä tarjoaa Suomessa yhdeksän yhtiötä, joista suurimpana Helen Oy, jonka toimialueella jäähdytetään 70 prosenttia Suomen kaukojäähdytetyistä kiinteistöistä. Toiseksi suurin on Turku Energia Oy ja kolmantena Espoon Fortum Oyj. Helen aloitti kaukojäähdytystoiminnan vuonna 1998. [2.]

Valtion teknologian tutkimuskeskuksessa (VTT) vuonna 2015 tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin silloisen rakennuskannan jäähdytystarve, sekä arvioitiin sen kehitystä 15 vuoden päähän. Trendiennusteen mukaan vuoteen 2030 mennessä jäähdytystarve kasvaa 2 prosenttia vuodessa. [8.] Kaukojäähdytyksen toimituksen kasvu 190 GWh:iin on johtunut viime vuosien tarjonnan lisääntymisestä. Kaukojäähdytykseen voidaan liittää sekä vanhoja että uusia rakennuksia. [8.]

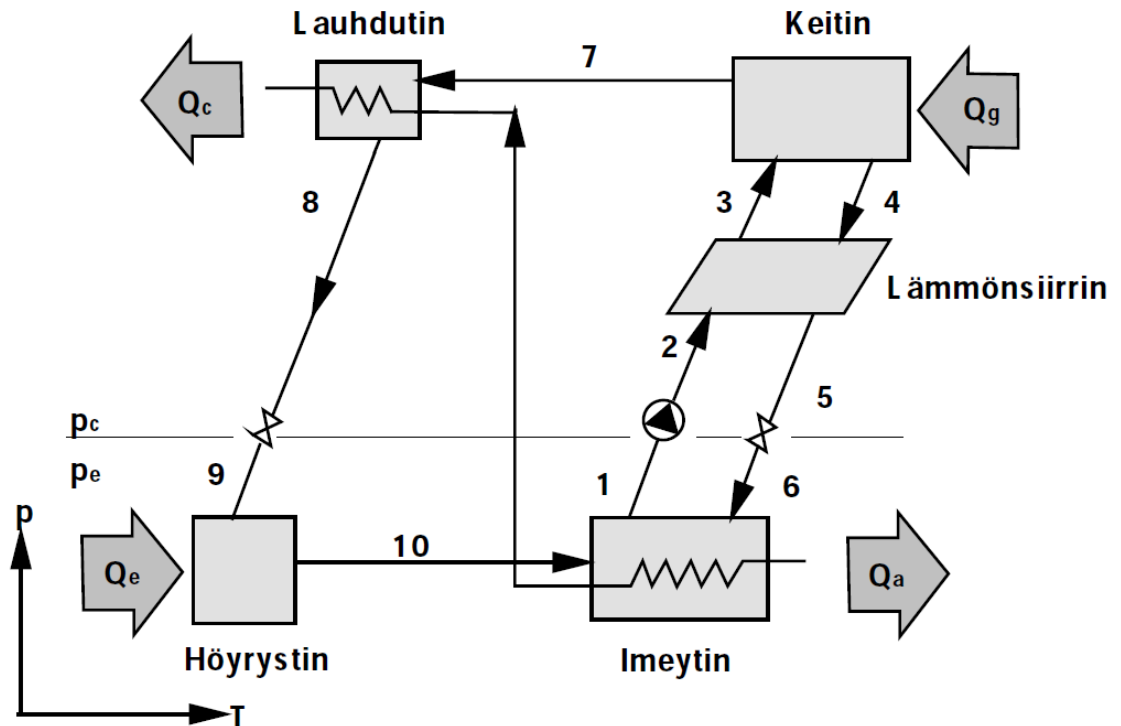


### 3 ABSORPTIOJÄÄHDYTTIMEN TOIMINTA

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu liuottimen tai kylmäaineen ominaisuuksiin ja niiden reagoimiseen toisiinsa liuoksena eri paineissa ja lämpötiloissa. Absorptiolämpöpumppuja on kahdenlaisia: Yksivaiheisia (SE- Single-effect) ja kaksivaiheisia (DE- Double-effect).

#### 3.1 Yksivaiheinen absorptiolämpöpumppu

Kuvassa 3 on esitelty absorptiojäähdytysprosessiin kuuluvat imeytin, keitin, lauhdutin ja höyrystin [4].



Kuva 3. Absorptiojäähdyttimen toimintaperiaate [4]

#### Lauhdutin

Lauhdutinta ja imeytintä jäähdytetään niiden välillä kiertävällä vedellä ( $Q_c$ ,  $Q_a$ ). Jäähdytysvettä ruiskutetaan jäähdytystornissa, jossa vedestä poistetaan lämpöä puhaltimien avulla. Lauhdutinta jäähdytetään, jotta keittimestä lauhduttimeen siir-

tyvä höyry lauhtuu nesteeksi, josta se virtaa paisuntaventtiin kautta höyrystimelle. Lauhduttimen lämpötila ja paine ( $p_c$ ) määräytyy käytettävissä olevan jäähdytysveden lämpötilan mukaan. [4.]

### **Höyrystin**

Höyrystimen tehtävänä on jäähdyttää jäähdytettävää kohdetta. Kun kyseessä on kaukojäähdytys, rakennuksien jäähdytykseen tarvittava vesi ( $Q_e$ ) jäähdytetään höyrystimessä. Lauhduttimelta tuleva nestemäisessä muodossa oleva kylmäaine muuttuu paineenalennusventtiin ja höyrystimessä vallitsevan alipaineen myötä höyryksi ja sitoo itseensä jäähdytettävän putkiston lämpöä. Mikäli höyrystimeen suihkutettava kylmäaine ei ole täysin höyrystynyt, kaikki jäljelle jäävät nesteet kerääntyvät höyrystimessä olevaan kaukaloon, josta kylmäaine kierrätetään takaisin ja suihkutetaan jäähdytettävälle putkistolle. Höyrystimen paine määräytyy jäähdytettävän kohteen lämpötilan mukaan. [4.]

### **Imeytin**

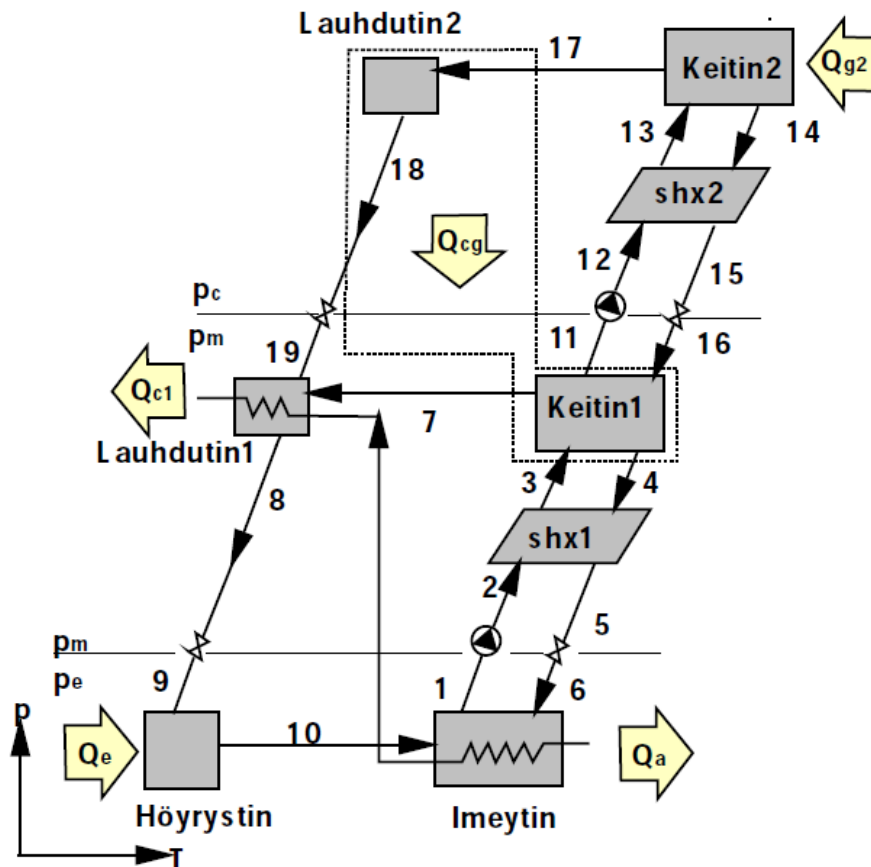
Imeyttimessä tapahtuu keittimeltä tulevan liuottimen ja höyrystimeltä tulevan kylmäainehöyryn absorptio, jonka jälkeen liuos pumpataan lämmönsiirtimen kautta keittimeen. Lämmönsiirrin parantaa prosessin hyötysuhdetta, kun liuos esilämmitetään keittimeltä palaavalla liuottimella. Imeytintä jäähdytetään, jotta siellä vallitseva höyrynpaine on alempi kuin höyrystimestä tulevan höyryn paine ( $p_e$ ), joka saa aikaan virtauksen. [4.]

### **Keitin**

Keittimessä erotetaan imeyttimeltä tulevasta liuoksesta liuotin ja kylmäaine toisistaan. Tämä tapahtuu kuumentamalla liuosta keittimelle tuodulla lämmöllä ( $Q_g$ ), esimerkiksi voimalaitokselta saatavalla kuumalla höyryllä, jolloin kylmäaine höyrystyy. Höyry siirtyy lauhduttimelle ja liuotin siirtyy lämmönsiirtimen ja paineenalennusventtiin kautta imeyttimeen. Liuottimen esiviilennys ennen imeytintä parantaa prosessin hyötysuhdetta. [4.]

### 3.2 Kaksivaiheinen absorptiolämpöpumppu

Kaksivaiheinen (DE- Double-effect) absorptiojäähdytin eroaa yksivaiheisesta absorptiojäähdyttimestä siten, että prosessiin tuotu lämpö hyödynnetään kahdesti eri keittimissä. Tästä syystä DE-jäähdyttimen COP on suurempi kuin SE-jäähdyttimellä. Laitteen hinta on kuitenkin suurempi prosessiin lisättävien vaiheiden ja komponenttien vuoksi. [6.] Kaksivaiheisen absorptiojäähdyttimen toimintaperiaate esitellään kuvassa 4.



Kuva 4. Kaksivaiheisen absorptiojäähdyttimen toimintaperiaate [6]

DE-absorptiojäähdytin on kehitetty korkeille, yli 150 °C primäärienergian lämpötiloille. Primäärienergian lämpötila tarkoittaa lämmönlähteestä saatua lämpötilaa. Korkean lämpötilan vuoksi DE-absorptiojäähdyttimissä esiintyy helpommin korrosio-ongelmia kuin SE-jäähdyttimissä. [6.]

### 3.3 Yleisimmin käytetyt kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita käytetään jäähdytykseen sekä kotitalouksien että teollisuuden kylmäkoneistoissa. Kylmäaine toimii väliaineena kylmäkoneen lämmön siirtämisessä. [16.] Absorptioprosessissa veden kanssa käytetään yleisimmin litiumbromidia ( $H_2O-LiBr$ ) tai ammoniakkaa ( $NH_3-H_2O$ ) [15.]

#### Vesi-litiumbromidi-jäähdytys

Litiumbromidia käytettäessä vesi toimii kylmäaineena. Vesi-litiumbromidi-prosessi vaatii yli 80-asteisen lämmönlähteestä saatavan vesivirran. Vesi-litiumbromidi-jäähdytin toimii alipaineessa veden pienen höyrynpaineen takia. Tämän vuoksi jäähdytyskoneiston on oltava hyvin tiivis, ja siinä on oltava ilmanpoisto. Vesi-höyryn suuren ominaistilavuuden takia jäähdytyskomponentitkin ovat suuria, joka lisää laitteiston hintaa. [6.] Taulukossa 1 esitellään  $H_2O-LiBr$ -työaineparin ominaisuuksia.

Taulukko 1.  $H_2O-LiBr$  -työaineparin ominaisuuksia [6]

<b><math>H_2O</math></b>	<b><math>LiBr - H_2O</math></b>
+ Suuri höyrystymisentalpia	+ Alhainen höyrynpaine
+ Myrkytön	+ Ei rektifikaatiotarvetta
+ Alhainen viskositeetti	+ Alhainen viskositeetti
	+ Hyvä liukoisuus
- Korkea jäätymispiste	- Aiheuttaa korroosiota
- Pieni höyrynpaine	- Kiteytyminen
	- Taipumus vaahtoamiseen

Litiumbromidi-vesiliuosta käytettäessä ei voida käyttää alle  $0\text{ °C}$  höyrystymislämpötilaa veden korkean jäätymispisteen vuoksi. Tästä johtuen  $H_2O-LiBr$ -liuoksella saavutetaan alimmillaan  $+5\text{ °C}$ :n jäähdytyslämpötila [6, s.17]. Tämä ei kuitenkaan haittaa kaukojäähdytystä tuottaessa, sillä tavoiteltava jäähdytyslämpötila on  $8\text{ °C}$ .

### Ammoniakki-vesi-jäähdytys

Ammoniakkia käytettäessä vesi toimii liuottimena. Ammoniakki-vesi-prosessissa tarvitaan yli 100 °C:n lämpötilaa. Lisäämällä natriumhydroksidia vesi-ammoniakkiliuokseen voi hyötysuhde parantua noin 20 %:lla, natriumhydroksidin parantamassa ammoniakkin ja veden erottumista. [3.] Ammoniakki-vesi jäähdytys toimii yli-paineessa. Ammoniakin ja veden kiehumispisteet ovat suhteellisen lähellä toisiinsa (ammoniakin kiehumispiste -33,4 °C:ssa), joten keittimestä lähtevän ammoniakkihöyryn rektifikaatio (tislauk) on välttämätöntä. Rektifikaatiolaitteet ja höyryjäähdyttimet nostavat käyttö- ja investointikustannuksia sekä pienentävät järjestelmän hyötysuhdetta. [6.] NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O-työaineparin ominaisuuksia esitellään taulukossa 2.

Taulukko 2. NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O -työaineparin ominaisuuksia [6]

NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O
+ Suuri höyrystysentalpia + Alhainen jähmettymispiste + Pieni viskositeetti	+ Pieni viskositeetti	+ Ei kiinteää faasia + Hyvä liukoisuus + Ei aiheuta korroosiota hiiliteräkselle
- Myrkyllinen - Korkea höyrynpaine	- Epäedullinen Höyrynpaine	- Myrkyllinen - Rektifikaatio tarpeellinen - Tulenarka

## 4 KUOPION ENERGIA OY

Kuopion Energia Oy on Kuopion kaupungin omistama energiapalveluyritys, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Yrityksen tarina sai alkunsa vuonna 1906, kun Kuopion kaupungin sähkölaitos perustettiin. Kaukolämmitys aloitettiin Kuopiossa vuonna 1963. Nykyään kuopiolaisista asunnoista yli 90 % lämmitetään kaukolämmöllä. [10.] Jäähdytystä Kuopion Energia Oy tuottaa Kuopion yliopistolliselle sairaalalle ja lähivuosina Savilahden alueelle on rakenteilla kaukojäähdytysverkosto. Kuopion Energian tytäryhtiönä toimii Kuopion Sähköverkko Oy, joka huolehtii sähkönsiirrosta. [10.]

Kuopion Energia Oy:

- Sähkön myynti 700 GWh/vuosi
- Kaukolämmön myynti 900 GWh/vuosi
- n. 50 000 sähköasiakasta
- n. 6000 kaukolämpöasiakasta
- Henkilökuntaa n. 160 [10.]

#### 4.1 Haapaniemen voimalaitos

Kuvan 5 ilmakuvassa näkyvällä Haapaniemen voimalaitoksella on käytössä kaksi kattilaa, HP2 ja HP3.



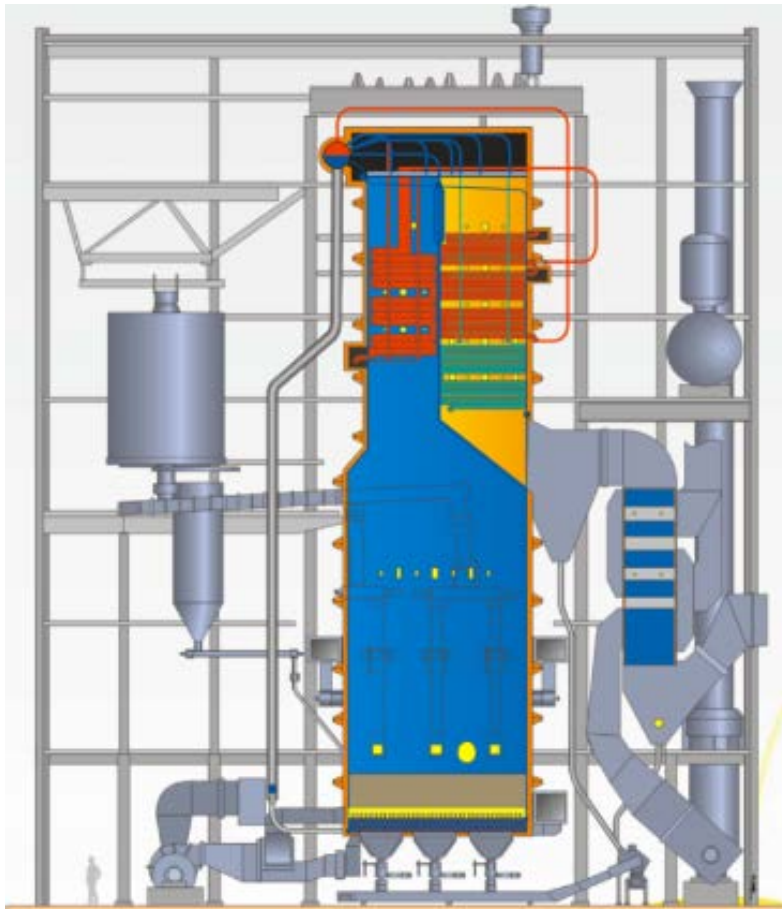
Kuva 5. Haapaniemen voimalaitosalue [5]

Pakkaspäivänä Haapaniemen laitokselle toimitetaan vuorokaudessa yli 100 rekka-autollista polttoainetta. Vuoden aikana polttoainetta kuluu jopa 1,8 miljoonaa kuutiota. Vuonna 2017 käytetyistä polttoaineista 37,8 % oli turvetta, 59,8 % biopolttoaineita, 1,4 % biokaasua ja 1,0 % Öljyä. Kotimaisuusaste käytetyillä polttoaineilla on 91 %. [10.]

HP2 on leijupetikattila (BFB, Bubbling Fluidised Bed). Kattilassa on savukaasupesuri, joka lauhduttaa savukaasua. Lauhtuminen luovuttaa lämpöä kaukolämmön paluulinjan esilämmitykseen. Pesurin tehtävänä on myös poistaa savukaasusta rikkiä ja hiukkasia. [13.] HP2-kattilan tietoja esitellään kuvassa 6 [5].

HP2:

- Höyryteho 240 MW
- Virtaus 88 kg/s
- Lämpötila 530 °C
- Paine 115 Bar
- Polttoaineteho 280 MW
- Sähköteho (brutto) 70 MW
- Kaukolämpöteho (ml. pesuri) 200 MW
- Polttoaineet:
  - Turve
  - Puuperäiset
- Käyttöönotto 10/2013

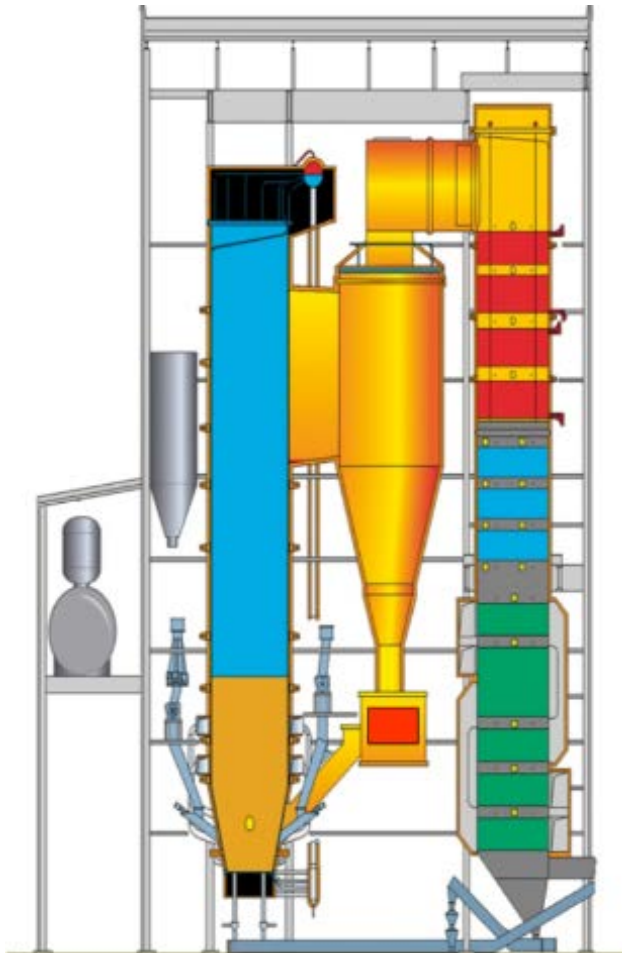


Kuva 6. HP2 -kattilan rakenne [5]

HP3 on kiertopetikattila (CFB, Circulating Fluidised Bed). Kattilan rakenne esitellään kuvassa 7.

HP3:

- Höyryteho 160 MW
- Virtaus 65 kg/s
- Lämpötila 535 °C
- Paine 130 Bar
- Polttoaineteho 180 MW
- Sähköteho (brutto) 50 MW
- Kaukolämpöteho (ml. pesuri) 100 MW
- Polttoaineet:
  - Turve
  - Puuperäiset
  - Kivihili
- Käyttöönotto 12/2011



Kuva 7. HP3 -kattilan rakenne [5]



HP2-kattilaa käytetään pääkattilana. HP3-kattila tukee tuotantoa kovimpien pakasten aikana sekä toimii pääkattilana HP2:n vuosihuollon aikana. [13.]

### **Höyryn otto absorptiolämpöpumpulle**

Absorptiolämpöpumpulle tarvittava höyry voidaan ottaa voimalaitoksen höyryn jakotukista, jonne höyry tulee sähköä tuottavan turbiinin välitosta. Välitosta saadaan absorptiolämpöpumpulle sopivassa paineessa ja lämpötilassa (4 bar, 200 °C) olevaa höyryä. [12.] Haapaniemen voimalaitoksen höyryn jakotukki esitellään kuvassa 8.

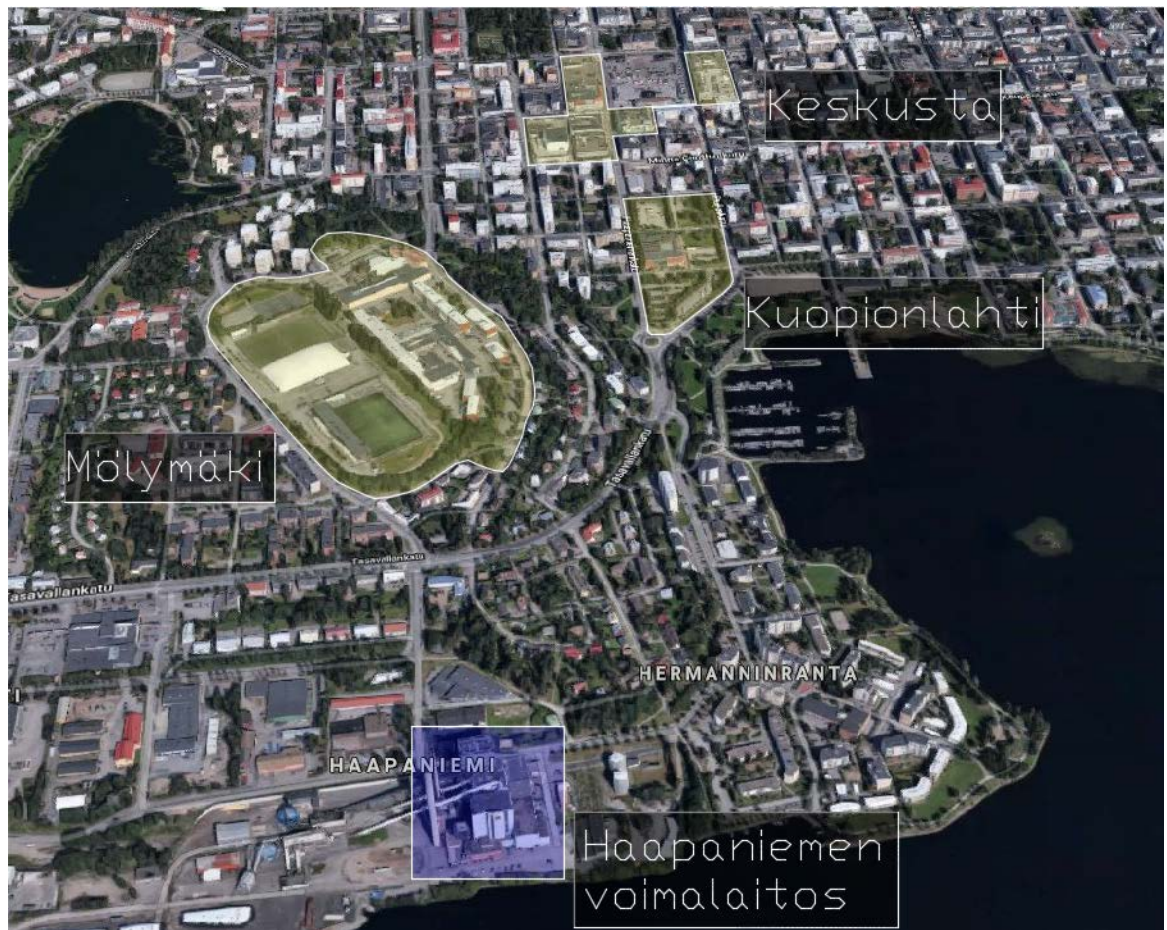


Kuva 8. Haapaniemen voimalaitoksen höyryn jakotukki

Tämä on myös voimalaitoksen höyryn tuotannon kannalta järkevä paikka ottaa höyryä, sillä mitä alhaisemmalta painetasolta höyry otetaan, sitä edullisempaa se on, koska tällöin höyry osallistuu pidemmälle vastapaineturbiinin sähköntuotannossa. [12.]

## 5 TUTKITTAVAT JÄÄHDYTYSALUEET

Tarkasteltavia jäähdytysalueita ovat Kuopion Mölymäki, Kuopionlahti ja Keskustan alue. Nämä alueet siksi, koska ne ovat lähellä Haapaniemen voimalaitosta ja niillä on riittävästi potentiaalisia asiakkaita, kuten kauppakeskuksia ja toimisto- ja liiketiloja. Nämä alueet ovat myös tiheästi rakennettuja, joka on tärkeä asia kaukojäähdytyksen kannattavuutta ajatellen. Tällöin jäähdytysputkistoa tarvitsee rakentaa mahdollisimman vähän asiakasmäärään verrattuna. Alueet näkyvät kuvassa 9.



Kuva 9. Tutkittavat alueet [7]

### **Keskusta**

Keskustan mahdollisten jäähdytysasiakkaiden yhteenlaskettu kerrosala on noin 93 000 kerrosneliometriä (ke-m<sup>2</sup>). Alueella on kauppakeskuksia, liiketiloja ja toimistotiloja, joten alue soveltuu hyvin kaukojäähdytykseen.

### **Kuopionlahti**

Kuopionlahden alueella mahdollisia jäähdytysasiakkaita ovat musiikkikeskus, sekä alueelle lähivuosina rakentuvat liiketilat ja hotelli- ja kongressitilat. Olemassa olevan musiikkikeskuksen ja tulevien rakennusten arvioitu yhteenlaskettu kerrosala on noin 54 000 ke-m<sup>2</sup>.

### **Mölymäki**

Mölymäen alueelle on tulossa kaavamuutos, jonka tarkoituksena on rakentaa asuinrakennuksia, liike- ja toimistotiloja, palveluasumisrakennuksia, urheilu- ja virkistyspalveluja sekä pysäköintitiloja. Alue eroaa Keskustan ja Kuopionlahden alueista selkeästi siten, että siellä suurin osa kerrosalasta on asuintarkoitukseen. Alueen arvioidut tulevat kerrosalat ovat yhteensä noin 100 000 ke-m<sup>2</sup>, josta noin 10 % on toimitiloja. Tämän vuoksi Mölymäki ei ole kaukojäähdytyksen kannalta yhtä potentiaalinen alue Keskustaan ja Kuopionlahteen verrattuna, sillä asuinrakennusten liittyminen jäähdytykseen on harvinaisempaa. Tästä syystä mitoituksessa huomioitiin vain kaikki toimitilat. Suunnitellun putkiverkoston reitin kulkiessa Mölymäen alueella voidaan kuitenkin varautua kaukojäähdytykseen liittyjiin.

## **6 TEHO- JA ENERGIALASKENTA**

Rakennusten jäähdytystehontarpeita laskettiin kolmella eri tavalla. Näistä saatuja tuloksia verrattiin olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoihin. Lopulliseksi laskentatavaksi valittiin se, jolla tehontarve oli lähimpänä olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoa.

Laskentatavoissa 1 ja 2 käytettiin vuosienergiankulutuksen laskennassa taulukosta 3 saatuja huipun käyttöaikoja eri rakennustyypeille. Laskentatavassa 3 käytettiin Suomen vuoden 2016 kaukojäähdytystilastoista saatuja arvoja.

### Laskentatapa 1

Tässä laskentatavassa käytettiin Energiategollisuus ry:n antamia taulukon 3 arvoja jäähdytystehontarpeen arviointiin, joista valittiin keskiarvoiset tehot.

Taulukko 3. Jäähdytystehontarpeen ja vuotuisen jäähdytysenergiankulutuksen arviointiin käytettäviä arvoja eri rakennustyypeille [4, s.550]

Rakennustyyppi	Tehontarve [W/m <sup>2</sup> ]	Energiankulutus [kWh/m <sup>2</sup> ]	Huipun käyttöaika [h]
Asuinrakennus	15...30	10...15	300...600
Toimistorakennus	30...70	15...50	500...1400
Kauppakeskus	100...200	70...150	700...2000
Atk-tilat	300...		>3000
Hotellit	40...70		800...1200

Laskennassa käytettiin tehontarpeen arvona keskustan alueen kauppakeskuksille ja musiikkikeskukselle 150 W/m<sup>2</sup>, muille Kuopionlahden alueelle tuleville rakennuksille 55 W/m<sup>2</sup>. Mölymäen alueelle, jossa on asuinrakennuksia ja toimistorakennuksia, tehontarpeeksi valittiin 30 W/m<sup>2</sup>. Näitä arvoja käytettiin yhtälössä 1.

$$\varnothing = \frac{V \cdot a}{1000} \quad (1)$$

jossa

$\varnothing$	rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve	[kW]
$V$	rakennuksen kerrosala	[m <sup>2</sup> ]
$a$	rakennuksen tehontarve neliömetrille	[W/m <sup>2</sup> ]
1000	W -> kW muuntokerroin	

Rakennuksen vuosienergiankulutus saatiin kertomalla taulukko 3:sta saatu huipun käyttöaika yhtälön 1 tuloksella (yhtälö 2). Huipun käyttöajan arvona käytettiin rakennustyyppin mukaan taulukosta 3 saadun suosituksen keskiarvoa.

$$E = \frac{\varnothing \cdot t}{1000} \quad (2)$$

jossa	$E$	rakennuksen vuosienergiankulutus	[MWh]
	$\varnothing$	rakennuksen kokonaisjäähdytys- tehontarve	[kW]
	$t$	rakennuksen huipun käyttöaika	[h]
	1000	kWh -> MWh muuntokerroin	

## Laskentatapa 2

Tässä laskentatavassa käytettiin Valtion teknologian tutkimuskeskuksen suosituksia rakennusten jäähdytystehontarpeen arviointiin, jotka esitellään taulukossa 4. Tehontarpeeksi valittiin 18 W/m<sup>3</sup>. Tätä arvoa käytettiin yhtälössä 3.

Taulukko 4. VTT:n suosituksia rakennusten jäähdytystehontarpeen arviointiin [9]

Rakennustyyppi	Tehontarve [W/m <sup>3</sup> ]
Toimisto	15...20
Hotelli	15...20
Yleisötilat	18...20
Asuintalot	10...15

$$\varnothing = \frac{V \cdot a}{1000} \quad (3)$$

jossa	$\varnothing$	rakennuksen kokonaisjäähdytys- tehontarve	[kW]
	$V$	rakennustilavuus	[m <sup>3</sup> ]
	$a$	rakennuksen tehontarve kuutiometrille	[W/m <sup>3</sup> ]
	1000	W -> kW muuntokerroin	

Vuosienergiankulutus laskettiin yhtälöllä 2. Huipun käyttöajan arvona käytettiin rakennustyyppin mukaan taulukosta 3 saadun suosituksen keskiarvoa.

### Laskentatapa 3

Tässä laskentatavassa käytettiin Suomen vuoden 2016 kaukojäähdytystilastoista saatuja arvoja. Tilastot saatiin sivulta [www.kaukolampoekstra.fi](http://www.kaukolampoekstra.fi). Sivusto vaatii kirjautumisen. Tehojen laskennassa käytettiin yhtälöä 3 ja vuosienergiankulutusten laskennassa yhtälöä 4. Vuoden 2016 kaukojäähdytystilastojen mukaan arvioitu tehontarve kuutiota kohden on  $11 \text{ W/m}^3$ .

Laskentatavoista 1 ja 2 poiketen vuosienergiankulutuksen laskentaan käytettiin myös jäähdytystilastojen keskimääräisiä arvoja. Vuosienergiankulutus laskettiin yhtälöllä 4.

$$E = V \cdot a \quad (4)$$

jossa	$E$	rakennuksen vuosienergiankulutus	[kWh/v]
	$V$	rakennustilavuus	[m <sup>3</sup> ]
	$a$	keskim. energiankulutus/vuosi	[kWh/m <sup>3</sup> /v]

Tällä laskentatavalla tehontarve oli lähimpänä olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoa. Myös tuotantotehon laskentaa ajatellen tätä voidaan pitää luotettavimpana, sillä se ottaa huomioon erilaiset jäähdytyksen käyttäjät.

### Esimerkki laskentatapojen tuloksista

Taulukkoon 5 on koottu erään rakennuksen lasketut tehontarpeet käyttämällä edellä mainittuja laskentatapoja. Esimerkistä voi huomata, että erot ovat merkittäviä.

Taulukko 5. Esimerkkikohteen tehontarpeet eri laskutavoilla

Olemassa oleva teho 710 kW		
Laskentatapa 1	Laskentatapa 2	Laskentatapa 3
1496 kW	1167 kW	713 kW

Absorptiojäähdyttimen valintaan käytettäväksi tehontarvelaskentatavaksi valikoitui laskentatapa 3, joka laskettiin kaukojäähdytystilastojen mukaan. Tällä laskentatavalla saadut tulokset olivat lähimpänä olemassa olevien jäähdytyslaitteiden tehoa.

### Jäähdytystehon risteily

Yhteenlasketut tehontarpeet voidaan kertoa 0,85:llä, jolloin kaukojäähdytysverkostolla tapahtuva ”risteily” otetaan huomioon. Tällöin huomioidaan se, että verkoston jäähdytysasiakkaiden tehontarpeet eivät todellisuudessa koskaan ole samanaikaisesti huipussaan. Tämä johtuu muun muassa jäähdytyslaitteiden eriaikaisesta toiminnasta sekä auringon vaikutuksesta eri tavalla eri rakennuksiin. Kerroin 0,85 on yleisesti kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysmitoituksessa käytetty kerroin.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Absorptiolämpöpumpun mitoitus ja valinta

Jäähdytyksen tuotannon teho mitoitettiin käyttämällä asiakkaitten liittymisprosentina 90 %. Mikäli liittyjiä on tätä enemmän, on hankittava yksi absorptiolämpöpumppu lisää. Putkisto mitoitettiin 100 % liittymisen mukaan, joten putkistossa on mahdollisuus nostaa jäähdytystehoa. Mitoituksessa otettiin huomioon myös risteily, jolloin tuotanto voidaan mitoittaa 85 %:iin rakennusten yhteenlasketusta tehontarpeesta. Tarvittavan tuotantotehon laskennassa käytetyt tehontarpeet esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Alueitten jäähdytystehontarpeet 90 % liittymisellä

Alueitten tarvitsema jäähdytysteho	
Keskusta	4,35 MW
Kuopionlahti	1,63 MW
Mölymäki	0,28 MW
<b>Yhteensä</b>	<b>6,27 MW</b>

Absorptiolämpöpumpun valinnassa vertailtiin eri absorptiolämpöpumppujen toimittajien laitteita ja hintoja. Laitteeksi valittiin 3,2 MW absorptiolämpöpumppu,

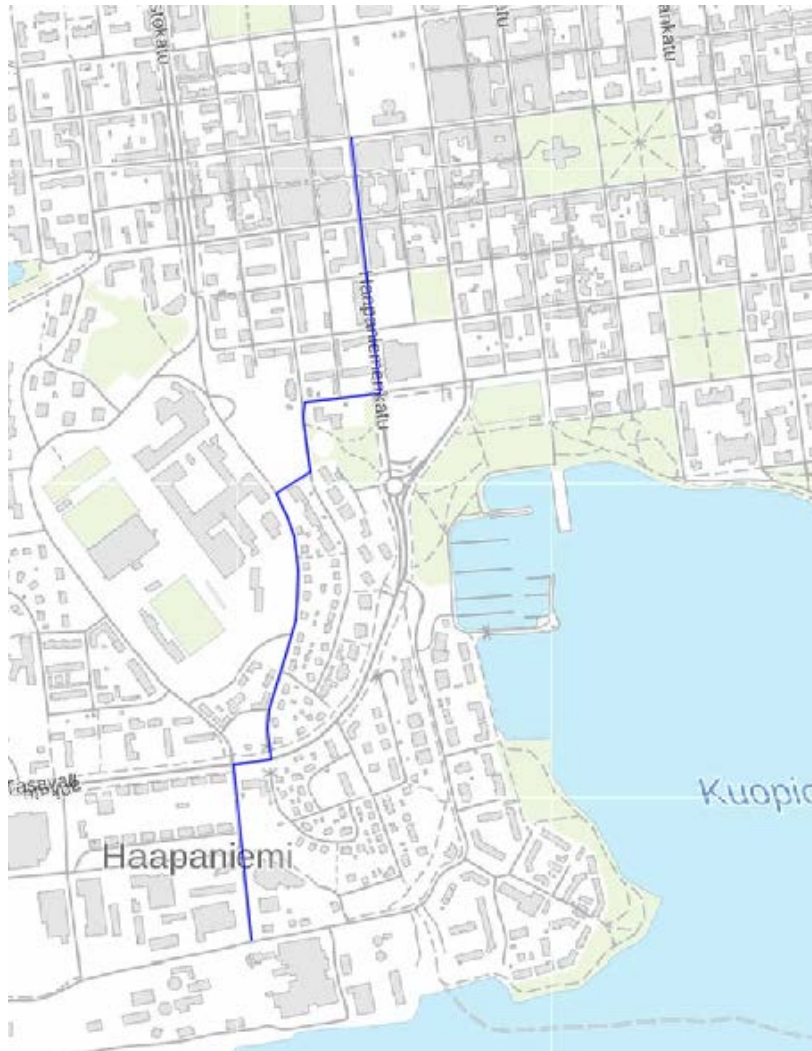
joita tarvitaan 2 kappaletta. Absorptiolämpöpumppujen yhteenlaskettu maksimi tuotantoteho on 6,4 MW, joka riittää mitoitusilanteessa. Jäähdytyksen tuotanto on jaettava kahdelle absorptiolämpöpumpulle siksi, että niitä voi käyttää yksitellen ja pienelläkin jäähdytysteholla. Yksi absorptiolämpöpumppu on 7,6 cm pitkä ja 1,88 m leveä ja tarvitsee huoltotiloineen noin 16,5 x 4,2 m kokoisen tilan. Korkeutta absorptiolämpöpumpulla on 3,025 m ja sen yläpuolelle tarvitaan lisäksi huoltotilaa noin 0,5 m.

Absorptiolämpöpumppu käyttää kylmäaineena vettä ja liuottimena litiumbromidia. Jäähdytysveden kierto tapahtuu jäähdytystornissa, jonka sisällä vesi suihkuteetaan ja käytetään puhaltimia viilentämään vettä. Absorptiolämpöpumpun käyttöenergiana toimii voimalaitokselta saatu höyry, jota syötetään laitteeseen 180 °C:n lämpöisenä, jolloin koneen COP-arvo eli hyötysuhde on 1,46. Jäähdytystehoa voidaan muuttaa virtausta säätämällä. Muita absorptiolämpöpumpun tietoja löytyy liitteestä 1.

## **7.2 Absorptiolämpöpumppujen ja jäähdytysputkiston sijoittelu**

Jäähdytysputkiston ja absorptiojäähdyttimien sijoittelun suunnittelussa käytettiin apuna Kuopion paikkatietopalvelun tietoja, josta tutkittiin alueen kunnallistekniikkaa. Tuloksena saatiin ehdotukset jäähdytysputkiston rungon (kuva 10) ja jäähdyttimen (kuva 11) sijainnille.





Kuva 10. Jäähdytysputkiston rungon sijainti [11]

Runkoputkien sijoittelussa välteltiin vilkkaiden risteysten ylityksiä, kaapeleita, kaukolämpöjohtoja ja vesijohtoja. Kuopionlahden alueelle suunnitellut muutokset otettiin myös huomioon sijoittelussa.



Kuva 11. Absorptiojäähdyttimien sijainti [11]

Absorptiojäähdyttimien sijainnille hyväksi vaihtoehdoksi valikoitui kuvaan 10 merkattu punainen alue. Alueelle mahtuu kaksi absorptiolämpöpumpua huoltotiloineen. Alueen hyötynä on myös se, että höyryputkien rakentamista ajatellen voimalaitoksen höyryn jakotukille on lyhyt matka. Sijoituskohdassa on vanha sähkösuodatin, joka on purettava absorptiolämpöpumpujen tieltä pois. Purkukustannuksia ei huomioida kustannuslaskelmissa, sillä vanhat käytöstä poistetut laitteet poistetaan joka tapauksessa jossakin vaiheessa.

### 7.3 Kustannukset

Investointiin kuluvat kustannuslaskelmat ja arvioidut vuosittaiset menot ja tulot luovutetaan eriteltynä Kuopion Energialle. Tässä opinnäytetyössä kerrotaan mistä kustannukset muodostuvat ja esitetään suuntaa-antavat takaisinmaksuajat, jotta voidaan arvioida absorptiolämpöpumpulla tuotetun kaukolämmön kannattavuus tutkitussa tilanteessa.

### Putkiston rakentaminen

Jäähdytysverkosto mitoitettiin 100 % liittymisen mukaan, jolloin varaudutaan kaikkien asiakkaitten jäähdytystarpeisiin. Putkisto pystyy kuitenkin tarvittaessa suurempaan jäähdytystehoon kuin mitoitustilanteessa olisi tarpeellista. Mikäli putkisto mitoitetaan liian pieneksi, olisi sen uusiminen hyvin kallista, joten putkistoa ei kannata mitoitaa liian pieneksi putkikooltaan.

Eri putkikoolta saatuja maksimitehoja laskettiin yhtälöllä 5. Jäähdytysveden virtausnopeus täytyy rajoittaa nopeuteen 1-2 m/s kylmän veden aiheuttaman eroosiovaaran takia. Valittu virtausnopeus laskuissa on 2 m/s. Veden ominaislämpökapasiteettina käytettiin 4,19 kJ/kgK. Kaukojäähdytyksessä veden jäähtymänä voidaan käyttää 8 °C, kun menolämpötila on 8 °C ja paluulämpötila 16 °C. [4, s.541.] Taulukossa 7 esitetään eri putkikokojen yhtälöllä 5 lasketut maksimijäähdytystehot.

$$\dot{Q} = V \cdot v \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot \rho \quad (5)$$

jossa	$\dot{Q}$	putkikoon max jäähdytysteho	[kW]
	$V$	putken sisätilavuus per metri	[dm <sup>3</sup> /m]
	$v$	virtausnopeus	[m/s]
	$C_p$	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
	$\Delta t$	kaukojäähdytysveden jäähtymä	[K]
	$\rho$	veden tiheys	[kg/dm <sup>3</sup> ]

Taulukko 7. Putkikokojen maksimijäähdytystehot

Putkikoko, DN	Putken sisätilavuus, dm <sup>3</sup> /m	Maksimi teho, kW
15	0,22	15
20	0,39	26
25	0,64	43
40	1,46	98
50	2,33	156
65	3,88	260
80	5,35	358
100	9,01	604
150	20,18	1353
200	34,67	2324
250	54,33	3642
300	76,80	5148
400	121,80	8165
500	192,75	12922

Jäähdytysputkien rakentaminen on nopeampaa kuin lämpöputkien, sillä putkia ei tarvitse esilämmittää lämpölaajenemisen kompensoimiseksi. Jäähdytysverkoston rakentaminen vastaa kustannuksiltaan kaukolämmitysverkoston rakentamiskustannuksia [4. s.541].

Arvioitujen putkireittien pituudet laskettiin ja käytettiin Energiateollisuus ry:n antamia kaukolämpöjohtojen keskimääräisiä rakentamiskustannuksia. Kustannukset on annettu muodossa €/m, johon on huomioitu maarakennustyöt, materiaalit ja putki- ja liitostyöt. Pituuksien laskennassa huomioitiin eri putkikoot, joille on eri kustannukset. Putkikoot määriteltiin alueitten tehontarpeitten mukaan.

### **Absorptiolämpöpumpun hankinnan ja käytön kustannukset**

Valitun absorptiolämpöpumpun toimittajan hintaan sisältyy kaksi absorptiolämpöpumpua, toimitus, kytkentä, käyttöönotto, käyttöjärjestelmä ja henkilökunnan koulutus.

Absorptiolämpöpumpuille on rakennettava puolilämmin tila, jotta pakkaneen ei aiheuta jäätymisongelmia. Tarvittavan hallin koko on noin 16,5 x 8,5 m, jotta myös huoltotoimenpiteille jää tilaa. Hallin rakentamiseen kuluvat kustannukset voidaan

arvioida laskemalla arvolla 700 €/m<sup>2</sup> [14]. Tällöin rakennuksen hinnaksi tulisi noin 100 000 €. Voimalaitoksella tuotettavan höyryn tuotannon kustannuksena käytettiin voimalaitoksen henkilökunnalta saatua hintaa megawattituntia kohden.

#### 7.4 Takaisinmaksuaika

Kaukojäähdytyksestä saadaan tuloja liittymismaksuista ja vuotuisista perusmaksuista ja energiamaksuista. Alla olevat hinnat perustuvat Kuopion Energia Oy:n henkilökunnalta saatuihin yleisiin hintatasoihin.

Jäähdytyksestä saatavat tulot:

- liittymismaksu 200 €/kW
- vuotuinen perusmaksu 27 €/kW
- energiamaksu 27 €/MWh.

Kustannuksiin huomioitiin merkittävimmät menot. Näitä ovat absorptiolämpöpumppujen hankintakustannukset, putkiston rakentaminen, puolilämpimän hallin rakentaminen sekä höyryn tuotannon kustannukset. Takaisinmaksuajat laskettiin yhtälöllä 6.

$$takaisinmaksuaika = \frac{investointikustannukset - liittymismaksut}{tuotto/v} \quad (6)$$

Vuosituotto saadaan vähentämällä vuotuisista tuloista vuotuiset menot. Takaisinmaksuajan laskennassa investointikustannuksiin, liittymismaksuihin, menoihin ja tuloihin huomioitavat asiat esitellään taulukossa 8.

Taulukko 8. Investointikustannuksiin, liittymismaksuihin ja vuotuisiin menoihin ja tuloihin huomioitavat asiat

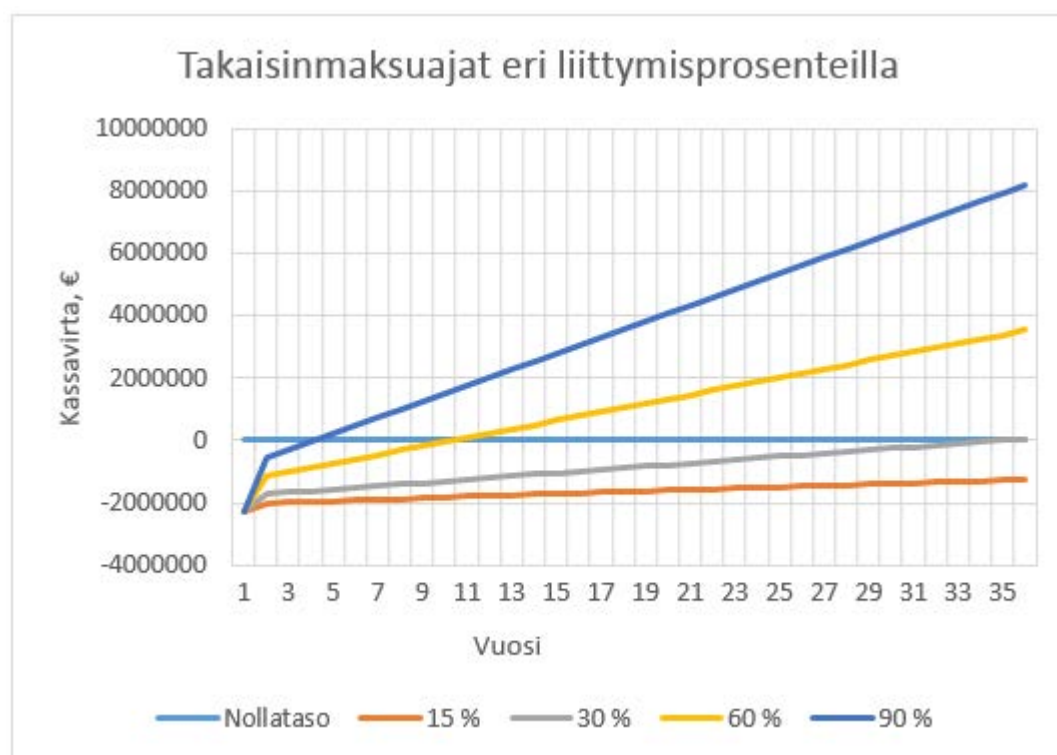
Investointikustannukset	Liittymismaksut	Menot vuodessa	Tulot vuodessa
Jäähdytysverkoston rakentaminen Absorptiolämpöpumppujen hankinta Puolilämpimän hallin rakentaminen	Asiakkaiden liittymismaksu sopimustehon mukaan: 200€/kW	Höyryn tuotanto	Perusmaksut Energiamaksut

Absorptiolämpöpumpun käyttämä sähkö on vähäistä, joten se ei vaikuta merkittävästi takaisinmaksu-aikaan. Suuntaa-antavat takaisinmaksuajat laskettiin neljällä taulukossa 9 esitetyllä skenaariolla.

Taulukko 9. Eri skenaarioiden liittymisprosentit

Skenaario	Liittymisprosentti
1	15
2	30
3	60
4	90

Skenaarioiden liittymisprosentit perustuvat jäähdytettävään tilavuusprosenttiin teoreettisesta maksimitilavuudesta. Takaisinmaksuajat skenaarioille esitellään kuvassa 12.



Kuva 12. Takaisinmaksuajat

Kuvassa näkyy ensimmäisenä vuotena tehdyt investoinnit. Toiselle vuodelle on laskettu tuloja liittymismaksuista, joten tuloja on selkeästi muita vuosia enemmän. Todellisuudessa liittyjät jakautuvat todennäköisesti useammalle vuodelle, mutta liittymistahtia on vaikeaa ennustaa. Takaisinmaksuaikaa laskiessa sillä ei ole kuitenkaan tässä tapauksessa merkitystä, jos oletetaan että liittyminen tapahtuisi ensimmäisten vuosien aikana.

Takaisinmaksuaika 15 ja 30 prosentin jäähdytysverkostoon liittymisellä on todella pitkä, joten näissä tapauksissa investointi ei olisi kannattava. Mahdolliset huolto- ja korjauskulut huomioon ottaen on suuri mahdollisuus, että investointiin käytettyä rahamäärää ei saada takaisin.

60 prosentin liittymisellä takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta. Takaisinmaksuaika itsessään on kohtuullinen, mutta riski sille, että kuuttakymmentä prosenttia ei saataisi liittymään kaukojäähdytykseen, on suuri.

90 prosentin liittymistä voidaan pitää hyvin epätodennäköisenä. Tällä enemmänkin teoreettisella liittymisprosentilla saataisiin takaisinmaksuajaksi noin 4 vuotta.

## **8 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Liittyjiä pitää saada tutkitulta alueelta vähintään noin 50–60 % maksimi rakennustilavuudesta, jotta investoinnin takaisinmaksuaika olisi kohtuullinen. Investoinnin riskit ovat siis suuret verrattuna siitä saatavaan tuloon. Mikäli edellä mainittu asiakasmäärä saadaan, voidaan investointia pitää kannattavana.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää potentiaaliset asiakkaat ja niiden tehotarpeet. Voimalaitoksen läheisyydessä on potentiaalisia asiakkaita varsinkin Keskustassa, jossa jäähdytystehontarpeet ovat suurimmat, sekä tulevaisuudessa myös Kuopionlahden alueella. Mölymäen alueelle rakennettavien toimitilojen lisäksi mahdolliset asuinrakennusten liittymiset jäähdytysverkostoon ovat hyvä lisä, mutta niiden varaan ei investointia voi laskea.

Jäähdytysverkosto ja absorptiolämpöpumppu on mahdollista rakentaa tutkimuksessa esitellyillä tavoilla. Jäähdytysputkien sijoittelussa on otettava huomioon vilkkaat risteykset, sekä olemassa oleva kunnallistekniikka. Kuopionlahden ja Mölymäen alueille tulevat muutokset on otettava myös huomioon putkiston sijoittelussa. Absorptiolämpöpumpuksi saatiin valittua sopiva laite, jonka toimittajan palvelu on kattavaa. Valitun absorptiolämpöpumpun toimittajan kanssa myös yhteydenpito oli toimivaa.

Absorptiolämpöpumppu sopii tutkittuun tilanteeseen paremmin, jos voimalaitoksella tuotettaisiin kesäaikaan hukkalämpöä pienen lämmityskuorman takia. Hukkalämpöä syntyy tilanteessa, jossa kesäaikaisen lämmitystarpeen teho on pienempi kuin voimalaitoksen minimi lämmityskuorman teho. Tällöin kaikki hukkalämmöstä saatava energia olisi hyötykäytetty kaukojäähdytykseen ja tuotannon kannattavuus nousisi. Nykyisellään Haapaniemen voimalaitoksella ei kuitenkaan tuoteta hukkalämpöä, joka on hyvä asia lämmityksen tuotannon kannalta, mutta huonontaa absorptiolämpöpumpun kannattavuutta.

Jäähdytystehon risteily vaikuttaa merkittävästi jäähdytyksen tuotannon tehontarpeen mitoitukseen. Risteilyn kertoimena käytetyn 0,85 sopivuutta tilanteeseen olisi syytä tutkia lisää. Mikäli jäähdytyksen tuotanto ylimitoitetaan, absorptiolämpöpumpun hyötysuhde heikkenee, sillä sen huipun käyttöaika vähenee. Myös absorptiolämpöpumpun hankintahinta kasvaa, mitä suurempi tehoinen absorptiolämpöpumppu on kyseessä.

Kylmäakun lisäämisen vaikutuksia tutkittuun tilanteeseen olisi syytä tutkia. Kylmäakun lisääminen jäähdytysjärjestelmään todennäköisesti vähentää tarvittavaa tuotantokapasiteettia ja pidentää tuotantolaitoksen huipun käyttöaika. Huipun käyttöajan pitenemisen johdosta myös hyötysuhde paranee. Kylmäakku antaa myös käyttövarmuutta [4, s.553]. Kylmäakkuun voidaan varastoida jäähdytysenergiaa esimerkiksi yöaikaan, kun jäähdytyksen tarve on vähäisempää ja käyttää sinne ladattua jäähdytysenergiaa päiväsaikaan.



Kaksivaiheisen (DE - Double-effect) prosessin mahdollisuuksia voisi myös tutkia. DE-jäähdytin eroaa tässä tutkimuksessa käsitellystä SE-jäähdyttimestä (Single-effect) siten, että prosessiin tuotu lämpö hyödynnetään kahdesti eri keittimissä.

Opinnäytetyö oli haastava, sillä työssä käsiteltyä absorptiolämpöpumppua ja sen toimintaa ei opintojen aikana juurikaan käsitelty. Myös kaukojäähdytyksen harvinaisuus Suomessa toi omat haasteensa, sillä vertailukohtia löytyy niukasti. Suomessa kaukojäähdytystoiminta sijoittuu toistaiseksi pääosassa Etelä-Suomeen, joten Kuopion korkeusasteella olevia vertailukohtia ei ollut.

Opinnäytetyön tilaajan henkilökunta, absorptiolämpöpumppujen toimittajat sekä muut yhteyshenkilöt työn teon aikana suhtautuivat työhön hyvin, sillä sain heiltä hyvin tietoa opinnäytetyötä varten. Työn tuomat haasteet olivat opettavaisia, joten työn kautta saaduista tiedoista on varmasti hyötyä itselleni tulevaisuudessa. Opinnäytetyö täyttää sille asetetut tavoitteet, joten työtä voidaan pitää onnistuneena. Laskelmista voi olla hyötyä Kuopion Energia Oy:lle myös muita jäähdytysvaihtoehtoja pohtiessa.

## LÄHTEET

- [1] Energiateollisuus ry. Kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä kaukojäähdytystä. [www-dokumentti]. Saatavissa: [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/kaukojaahdytys](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukojaahdytys) [viitattu 20.2.2018].
- [2] Energia uutiset. 2017. Jäätävää kasvua. [www-dokumentti]. Saatavissa: <http://www.energiuutiset.fi/kaukolampo/jaatavaa-kasvua.html> [viitattu 25.2.2018].
- [3] VTT. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. [pdf-dokumentti]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys\\_VTT\\_221216.pdf](https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf). [viitattu 27.2.2018]
- [4] Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja.
- [5] Kuopion Energia Oy. 2018. Energiantuotannon yleisesittely. Yrityksen intra. PowerPoint -esitys.
- [6] Koljonen T., Sipilä K. 1998. VTT. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. [pdf-dokumentti]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>. [viitattu 18.4.2018]
- [7] Google Maps. 2018. Satelliittikuva Kuopiosta. Saatavissa: <https://www.google.com/maps/@62.8739215,27.6755679,1398a,35y,4.87h,44.85t/data=!3m1!1e3>
- [8] VTT. 2015. Rakennusten jäähdytysmarkkinat. [pdf-dokumentti]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/399/Rakennusten\\_jaahdytysmarkkinat\\_18-12-2015.pdf](https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf).

- [9] Sipilä K., Ranne A. 2004. Kiinteistökohtaisen jäähdytystehon tuotantokustannukset, osa 1. Kylmäkoneistojen mitoitus, investointi- ja käyttökustannukset. VTT Tutkimusseloste.
- [10] Kuopion Energia Oy. 2018. Kuopion Energian yritysesittely. Yrityksen intra. PowerPoint –esitys.
- [11] Sito aineistot, MML. Kuopion paikkatietopalvelu.
- [12] Seppälä, P. Tuotantojohtaja. Sähköposti 1.2.2018. Kuopion Energia Oy
- [13] Taskinen, E. Energiatalousinsinööri. Haastattelu 5.4.2018. Kuopion Energia Oy
- [14] Luostarinen, J. Rakennuttaja. Haastattelu 9.4.2018. Kuopion Energia Oy.
- [15] Laitinen A., Rämä M., Airaksinen M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. VTT. Asiakasraportti.
- [16] Detector Oy. R-aineet eli kylmäaineet. [www-dokumentti]. Saatavissa: <http://www.detector.fi/yleistietoa-kaasuista/kylma-aineet-r-xxx.html>. [viitattu 13.4.2018]

### Chiller Performance Data

Date: 23.3.2018

Project: Kuopio

Chiller type: steam

		Customer's requirement	Proposition 1
<b>Manufacturer</b>	<b>BROAD</b>		
<b>Model</b>			<b>BS275X10.4-30/20-8/16-250</b>
Quantity		1	1
Cooling capacity	kW	3200/3100/2700	3200
Cooling capacity	104kcal/h		275
<b>Chilled water</b>			
Chilled water outlet temperature	°C	8	8
Chilled water inlet temperature	°C	16	16
Flowrate	m <sup>3</sup> /h		343,9
Static pressure	MPa		0,8
<b>Cooling water</b>			
Cooling water outlet temperature	°C	30	30
Cooling water inlet temperature	°C	20	20
Flowrate	m <sup>3</sup> /h		465
Static pressure	MPa		0,8
<b>Steam source</b>			
Steam pressure	MPa	0,4	0,4
Inlet temperature	°C	≤ 180	180
Condensate temperature	°C		95
Flow rate	kg/h		3372
Available heat	kW		2192
Rated COP	COP		1,46
Cooling capacity	kW		3200
<b>Power demand</b>			
Power demand	kW		8,9

Note: other conditions upon BROAD catalog.