

Vastaanottaja
Prizztech Oy

Asiakirjatyyppi
Loppuraportti

Päivämäärä
4.3.2022

PRIZZTECH HUKKALÄMPÖSELVITYS



RAMBOLL

Bright ideas. Sustainable change.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



SATAKUNTALIITTO

Rambollin Yhteyshenkilö:

Jouni Laukkanen
+358 40 5743555
jouni.laukkanen@ramboll.fi

Tekijä: Soile Bäckström
Tarkastaja: Jukka Jalovaara
Hyväksyjä: Jouni Laukkanen

Ramboll Finland Oy
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

Y-tunnus 0101197-5
Kotipaikka Espoo

SISÄLTÖ

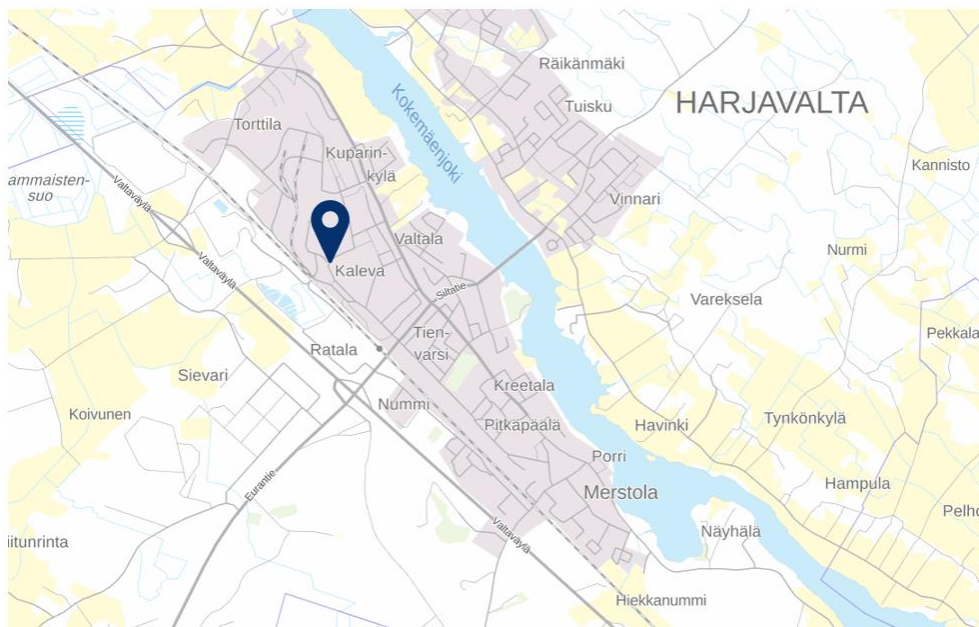
1.	Johdanto	2
1.1	Hukkalämpövirrat	2
1.2	Jäähdytystarve paineilman tuotannossa	4
2.	Absorptiolämpöpumput	5
2.1	Absorptiojäähdytysprosessi	5
2.2	Kylmä- ja absorptioaineet	7
2.3	Absorptiolämpöpumppujen tekniset ratkaisut	8
2.4	Absorptiolämpöpumput maailmalla	9
3.	Jäähdytys paineilman tuotannossa	10
3.1	Absorptiolämpöpumppu paineilman tuotannossa	11
3.2	Teknologiavertailu	12
4.	Johtopäätökset	13
4.1	Hukkalämmön hyödyntäminen paineilman tuotannossa	13
4.2	Hukkalämmön hyödyntäminen muissa jäähdytyskohteissa	14
5.	Jatkotoimenpidesuositukset	15
6.	Lähteet	16

1. JOHDANTO

Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueen teollisuusprosesseissa syntyy paljon ylijäämälämpöä muun muassa prosessin eri vaiheiden jäähdytyksessä. Tästä alueella syntyvästä hukkalämmöstä suuri osa hyödynnetään jo Harjavallan kaupungin kaukolämmöntuotannossa, mutta kaikelle ylijäämälämmölle ei ole vielä löytynyt järkevää käyttökohdetta.

Alueella on runsaasti erilaisia jäähdytyskohteita. Tämän selvitystyön tavoitteena on ollut selvittää alueen teollisuusprosesseissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämistä jäähdytyksen tuotantoon. Työ on toteutettu tarkastelemalla esimerkkitilannetta, missä jäähdytystä tarvitaan paineilman tuotannossa.

Tämän selvitystyön on tilannut Prizztech Oy. Selvitystyö on osa "Hukkalämmöstä hyötyenergiaa"-hanketta. Hanketta rahoittavat Satakuntaliitto EAKR-rahoituksella ja Porin seudun kunnat.



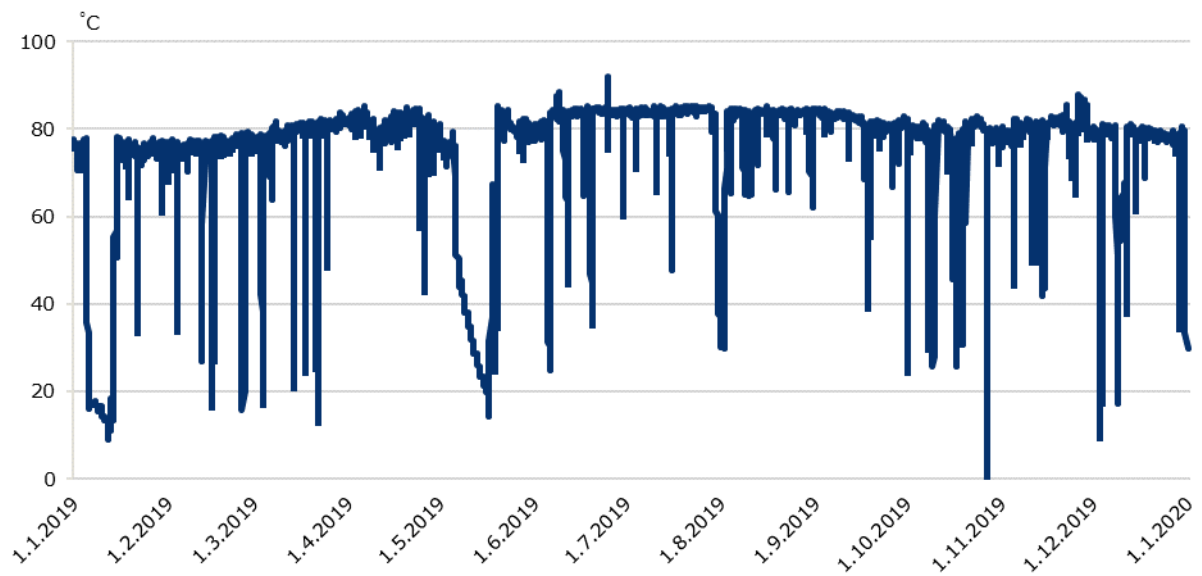
Kuva 1 Harjavallan suurteollisuuspuisto

1.1 Hukkalämpövirrat

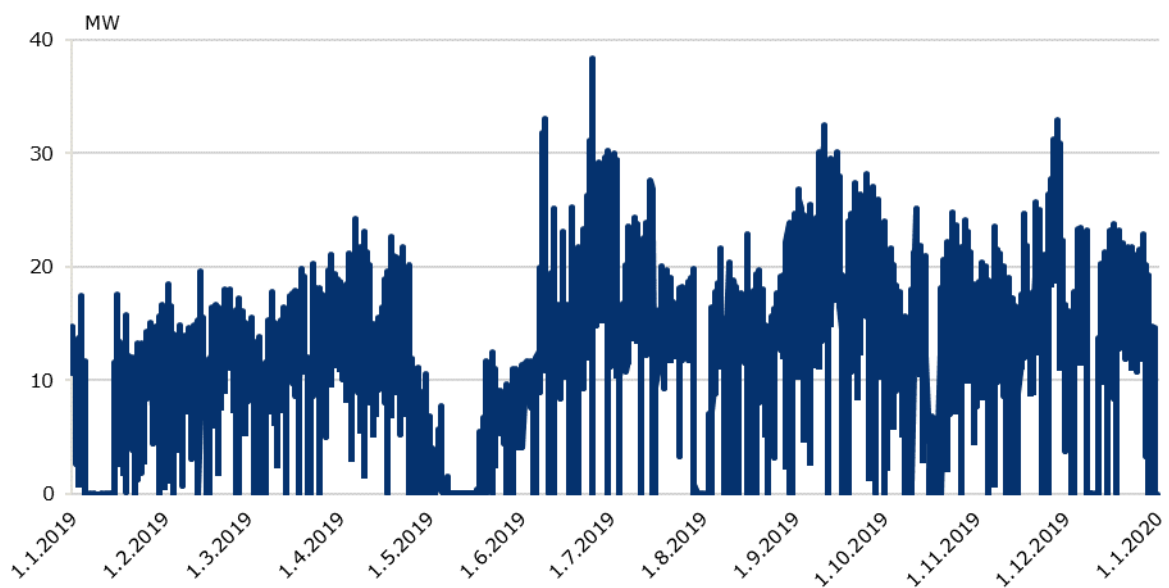
Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueella on useita erilaisia hukkalämpövirtoja, joista tähän selvitystyöhön on valittu yksi esimerkkivirraksi. Esimerkkivirraksi valittiin helposti hyödynnettävissä oleva rikkihappotehtaan jäähdytysvesi. Veden lämpötila vaihtelee lämpötila-alueella 9–92 °C. Taulukossa 1 alla on esitetty hukkalämpövirran keskeisimmät tiedot. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty työssä hyödynnetyn hukkalämpövirran lämpötila- ja tehovaihtelut vuonna 2020.

Taulukko 1 Selvitystyössä hyödynnetty hukkalämpövirta

Hukkalämpövirrat	
Vuotuinen energiamäärä	102 GWh
Keskimääräinen teho	11.7 MW
Keskimääräinen lämpötila	74 °C



Kuva 2 Selvitystyössä hyödynnetyn hukkalämpövirran lämpötilavaihtelut esimerkkivuoden aikana



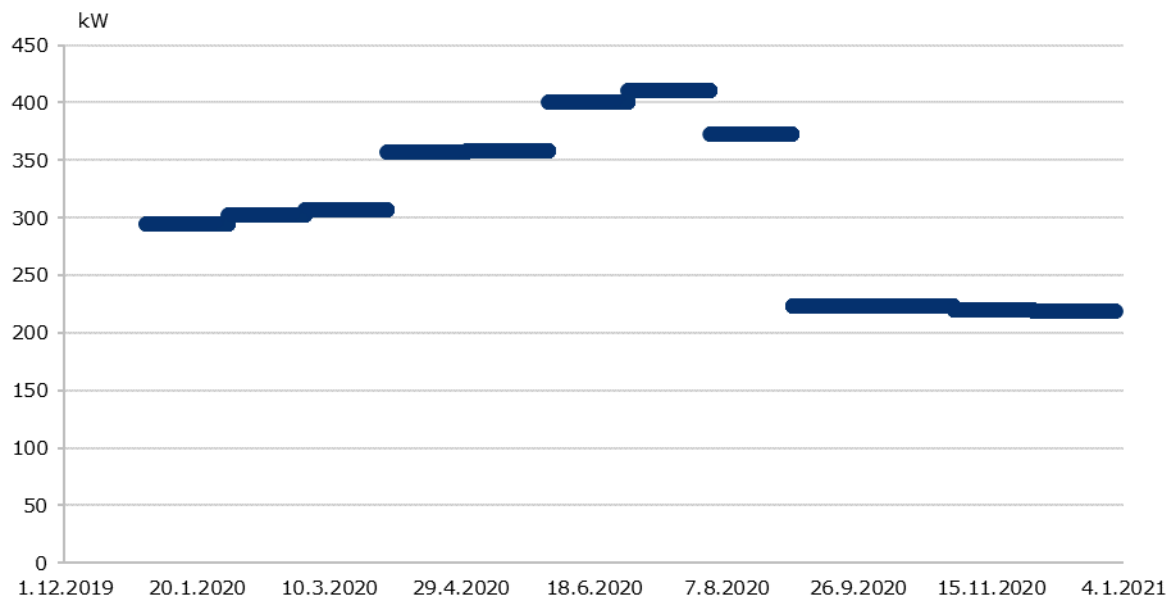
Kuva 3 Selvitystyössä hyödynnetyn hukkalämpövirran tehovaihtelut esimerkkivuoden aikana

1.2 Jäähdytystarve paineilman tuotannossa

Selvitystyön tavoitteena on ollut selvittää alueen teollisuusprosesseissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämistä jäähdytyksen tuotantoon. Työ on toteutettu tarkastelemalla esimerkittilannetta, jossa jäähdytystä tarvitaan paineilman tuotannossa. Paineilmantuotannon nykyisessä jäähdytysratkaisussa hyödynnetään pohjavettä jäähdytyksen tuotantoon. Paineilmaa tuotetaan 20 000 normikuutiota tunnissa 7 bar paineella, tuotannossa tarvitaan 10–15 °C jäähdytysvettä. Jäähdytystarve on ympärivuotista, mutta kulutus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kulutushuippu jäähdytykselle saavutetaan tyypillisesti heinäkuussa ulkolämpötilan ollessa korkeimmillaan.

Työssä jäähdytystarve arvioitiin laskennallisesti saatujen lähtötietojen perusteella. Tarkkaa dataa paineilman tuotannon jäähdytyksen kulutuksesta ei ollut saatavilla. Jäähdytystarpeen arvioitiin jakautuvan tasaisesti vuorokauden ympäri, kuukauden jokaiselle päivälle. Tulo- ja menolämpötilojen välisen lämpötilaeron ΔT arvioitiin jäähdytyksessä olevan 10 °C.

Selvitystyössä arvioitiin jäähdytystarpeen vaihtelevan välillä 220–410 kW. Jäähdytystarpeen vaihtelut esimerkkivuoden aikana on esitetty alla olevassa kuvassa 4.

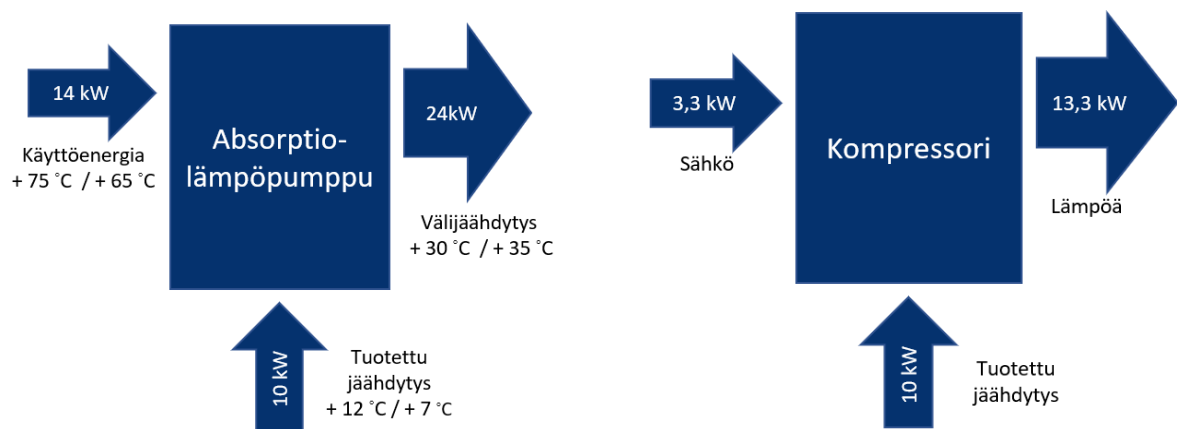


Kuva 4 Selvitystyössä arvioitu jäähdytysenergian tarve vuoden aikana. Jäähdytystarpeen maksimi heinäkuussa 411 kW

2. ABSORPTIOLÄMPÖPUMPUT

Absorptiojäähdytyksen lähtökohtana on hyödyntää lämpöenergiaa jäähdytyksen tuotantoon. Absorptiojäähdytysprosessi perustuu käytössä olevan työaineparin ominaisuuksiin ja erityisesti kyseisen aineparin käyttäytymiseen liuksena. Absorptiojäähdytysprosessissa paineen ja lämpötilan muuttuessa muuttuu työaineparin tasapainotila. Absorptiolämpöpumppprosessissa kylmäaine vuoroin liukenee (absorptio) liuotinnesteeseen (absorbentti) ja vuoroin vapautuu nesteestä (desorptio). Absorptio on tyypillisesti lämpöä vapauttava (eksoterminen) reaktio ja vastaavasti desorptio lämpöä sitova (endoterminen) reaktio.

Kuvassa 5 on esitetty havainnekuva absorptiolämpöpumpun toiminnasta suhteessa kompressoriin.



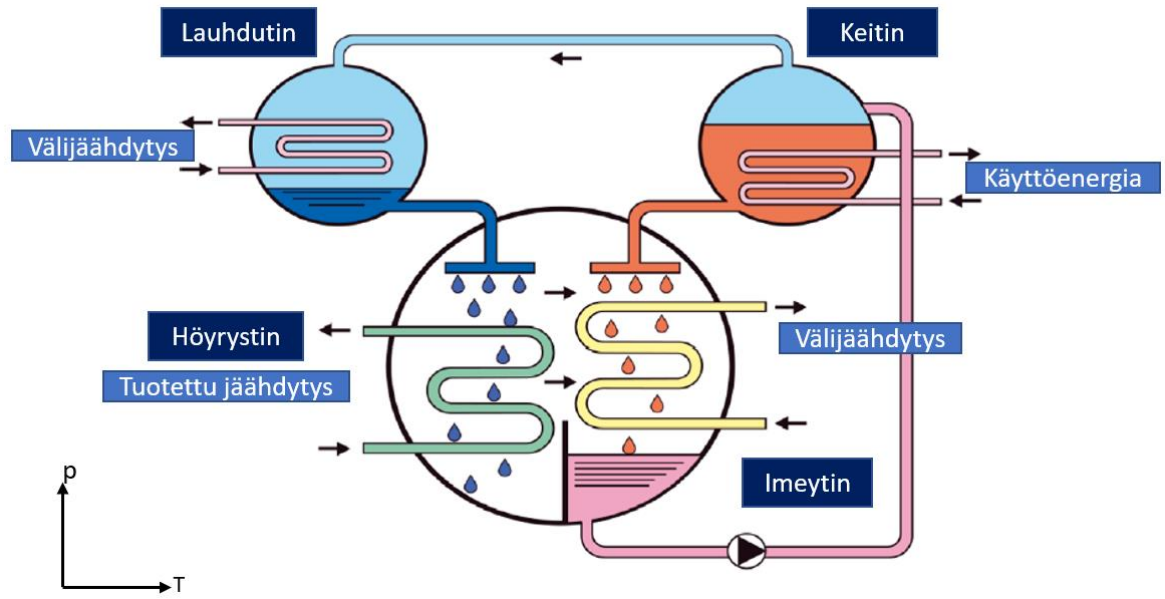
Kuva 5 Absorptiolämpöpumpun ja kompressorin toimintaperiaatteet

2.1 Absorptiojäähdytysprosessi

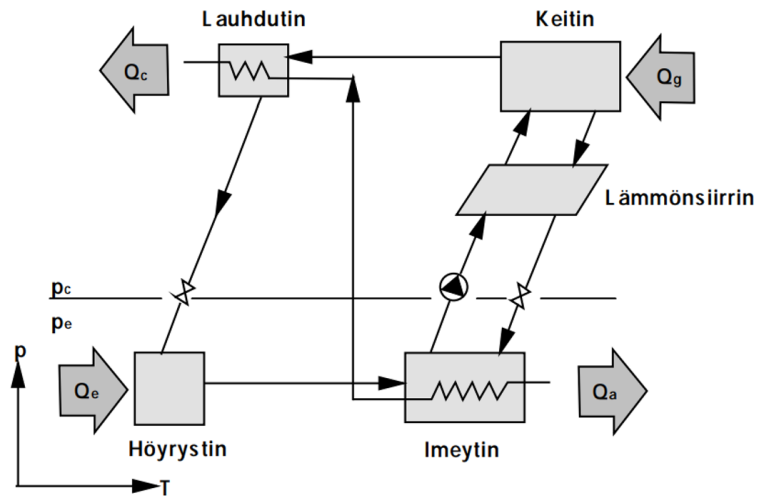
Absorptiolämpöpumppu vaatii toimiakseen riittävän kuumaa käyttöenergiaa, lauhdutukseen käytettävän välijäähdytysvirran sekä jäähdytettävän virran. Absorptiolaitteiden toiminta-arvoihin vaikuttavat voimakkaasti absorptiopumpun hyödyntämien käyttöenergian, välijäähdytyksen ja tuotetun jäähdytyksen lämpötilat. Absorptiolämpöpumpun pääkomponentit ovat imeytin, keitin, lauhdutin ja höyrystin:

1. Imeyttimellä kylmäaine-höyry absorboidaan väkevään liuotinnesteeseen. Neste nostetaan korkeampaan painetasoon keittimelle. Absorptiossa vapautuva lämpö johdetaan välijäähdytyksen avulla pois.
2. Keittimellä kylmäaine höyrystyy käyttöenergian avulla ja siirtyy lauhduttimelle. Väkevöitynyt liuotinneste palaa keittimeltä imeyttimelle.
3. Lauhduttimessa höyrystynyt kylmäaine lauhtuu, ja se ohjataan paisuntaventtiin kautta matalammassa painetasossa toimivalle höyrystimelle. Lauhtumisesta vapautuva lämpö johdetaan välijäähdytyksen avulla pois.
4. Höyrystimellä kylmäaine höyrystyy jäähdytettävän nesteen sisältämän energian avulla. Jäähdytysneste jäähtyy.

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty absorptiolämpöpumpun energiavirrat ja pääkomponentit



Kuva 6 Absorptiolämpöpumpun energiavirrat ja pääkomponentit



Kuva 7 Absorptiolämpöpumpun energiavirrat ja pääkomponentit

2.2 Kylmä- ja absorptioaineet

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu käytössä olevan työaineparin ominaisuuksiin ja erityisesti kyseisen aineparin käyttäytymiseen liuoksena. Absorptiojäähdytysprosessissa työaineparin muodostavat kylmä- ja absorptioaine. Tavallisimmat työaineparit absorptiojäähdytysprosesseissa ovat vesi-litiumbromidi ($H_2O-LiBr$) ja ammoniakki-vesi (NH_3-H_2O). Näiden aineparien ominaisuuksia on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2 Tyypillisten absorptiolämpöpumpuissa käytettävien työaineparien ominaisuuksia

	Vesi-litiumbromidi ($H_2O-LiBr$)	Ammoniakki-vesi (NH_3-H_2O)
Kylmäaine	Vesi	Ammoniakki
Absorbentti	Litiumbromidin ja veden liuos	Vesi
Toiminta-alue	Tuotettu jäähdytys on alimmillaan + 5 °C.	Käytetään tyypillisesti, kun haluttu jäähdytyslämpötila on alle 0 °C.
Huomioita	<ul style="list-style-type: none"> Veden pienen höyrinpaineen seurauksena $H_2O-LiBr$-absorptiojäähdytin toimii alipaineessa. Litiumbromidin kiteytymisraja on noin +4 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> Toimii korkeissa paineissa ja paine-erot ovat suuria. Ammoniakki on myrkyllistä. Koska komponenttien kiehumispisteet ovat lähellä toisiaan, tarvitaan höyrinpuhdistusjärjestelmä (korkeammat investointikulut).

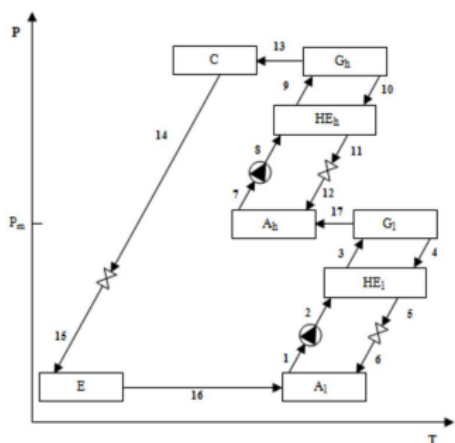
2.3 Absorptiolämpöpumpujen tekniset ratkaisut

Absorptiolämpöpumpujen teknisiä toteutuksia on useita erilaisia. Erilaisia absorptiolämpöpumppu-prosesseja on esitettyä kuvassa 8.

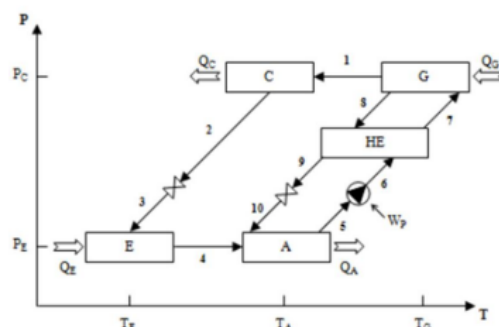
Eri toteutuksista half effect -ja single effect -prosesseissa päästään matalimpiin käyttölämpötiloihin. Half effect -prosessin huonon kylmäkertoimen vuoksi sitä ei kuitenkaan juuri hyödynnetä kaukolämpösovelluksiin.

Yleisin ratkaisu on yksivaiheinen eli single effect (SE) absorptiolämpöpumppu. Single effect -prosessin etuna on sen yksinkertainen tekninen toteutus, sopivat käyttölämpötilat ja half effect -prosessia paremmat kylmäkertoimet.

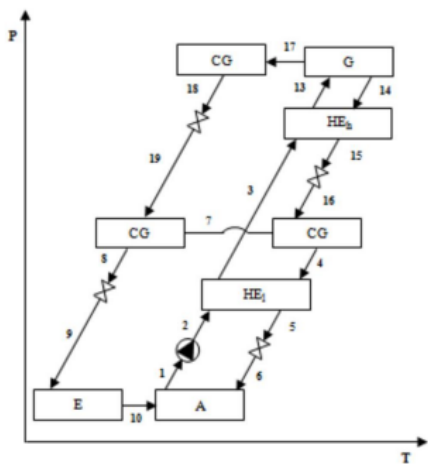
Double effect (DE) -prosesseissa puolestaan saavutetaan parhaat kylmäkertoimet, mutta nämä vaativat korkeita käyttölämpötiloja.



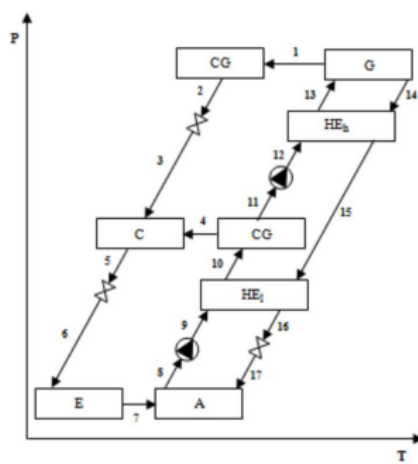
a) half effect



b) single effect



c) double effect in series



d) double effect inverse

Kuva 8 Half effect, single effect, double effect in series ja double effect inverse -absorptiolämpöpumppuprosessit

2.4 Absorptiolämpöpumput maailmalla

Absorptiolämpöpumppuja alettiin käyttää Euroopassa osana kaukolämpöjärjestelmää 1990-luvulla, tätä ennen absorptiojäähdyttimiä oli hyödynnetty pääasiassa teollisuudessa. Suomessa ensimmäinen absorptiolämpöpumppuun perustuva jäähdytysratkaisu otettiin käyttöön ABB:n tiloissa Helsingissä vuonna 1998. Nykyään absorptioon perustuvat jäähdytysratkaisut ovat yleisesti käytössä Pohjois-Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa.

Absorptiolaitteiden toimittajia löytyy useita suurissa teholuokissa, mutta myös pienissä teholuokissa (10–300 kW) löytyy useampia toimittajia. Osana tätä selvitystä haastateltiin kahta toimittajaa; Carrieria ja Calefaa.

Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty käytössä olevia suuren kokoluokan absorptiolämpöpumppuja.

Taulukko 3 Käytössä olevia suuren kokoluokan absorptiolämpöpumppuja

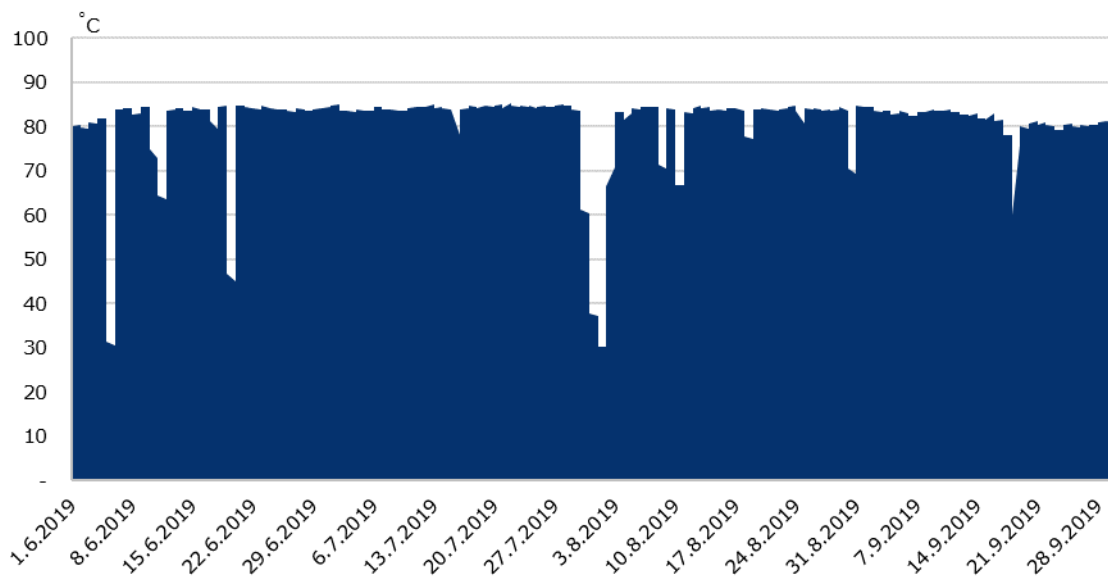
Sijainti ja käyttöönottovuosi	Käyttö	Teho
Suomi (2001) Helen, Salmisaari	Kaukokylmän tuotanto	Jäähdytys 10 x 3,5 MW
Suomi (2013) Ekokem Riihimäki	Savukaasujen lämmön talteenoton tehostus kaukolämmön paluuvettä hyödyntäen	Lämpö 2 x 4,5 MW Jäähdytys 2 x 2 MW
Tanska (2016) Løgumkloster Fjernvarme	Aurinkolämpövoimala	1,5 MW
Tanska (1988, laajennus 2000) Thisted Varmeforsyning	Geolämpölaitos	Lämpöteho 10 MW
Tanska (2007) Bjerringbro Varmeværk	Savukaasujen lämmön talteenotto	2,1 MW

3. JÄÄHDYTYS PAINEILMAN TUOTANNOSSA

Tässä selvitystyössä potentiaalisimpana jäähdytysratkaisuna nähtiin absorptiolämpöpumppu, jolla hukkalämpöä voidaan hyödyntää suoraan ilman priimausta eli ilman, että hukkalämpövirran lämpötilaa nostetaan ennen sen syöttämistä absorptiolämpöpumpulle.

Haasteena Harjavallan Suurteollisuuspuiston tilanteessa oli suhteellisen viileä, keskimäärin 75 °C hukkalämpö. Perustuen haastatteluihin eri laitetoimittajien kanssa on absorptiolämpöpumppu 75 °C lämmönlähteellä kuitenkin toteutettavissa. Käyttöenergian ollessa 75 °C tulee lauhdutukseen käytettävän välijäähdytyksen olla 30 °C, jolloin pystytään tuottamaan minimissään 12 °C jäähdytystä. Tämä kuitenkin riittää paineilmän tuotannon tarpeisiin, mihin vaaditaan 10-15 °C jäähdytysvettä. Kesäaikana selvitystyössä tarkastellun hukkalämpövirran lämpötila on suurelta osin yli 80 °C, jolloin päästään parempaan jäähdytystulokseen. Hukkalämpövirran lämpötila kesä-syyskuussa on esitetty kuvassa 9.

Matalan lämpötilan lisäksi selvitystyössä tarkastellun hukkalämpövirran haasteena nähtiin lämpötilavaihtelut, mikä nähdään myös kuvasta 9. Absorptiopumppu toimii parhaiten vakaisissa lämpötilaolosuhteissa, ja lämpötilojen vaihtelu heikentää absorptiolämpöpumpun kokonaisyötysuhdetta. Tämän ei kuitenkaan katsottu olevan ongelma, sillä lämmönlähteen lämpötilavaihteluista aiheutuvat haitat voidaan välttää esimerkiksi puskurivarastolla.



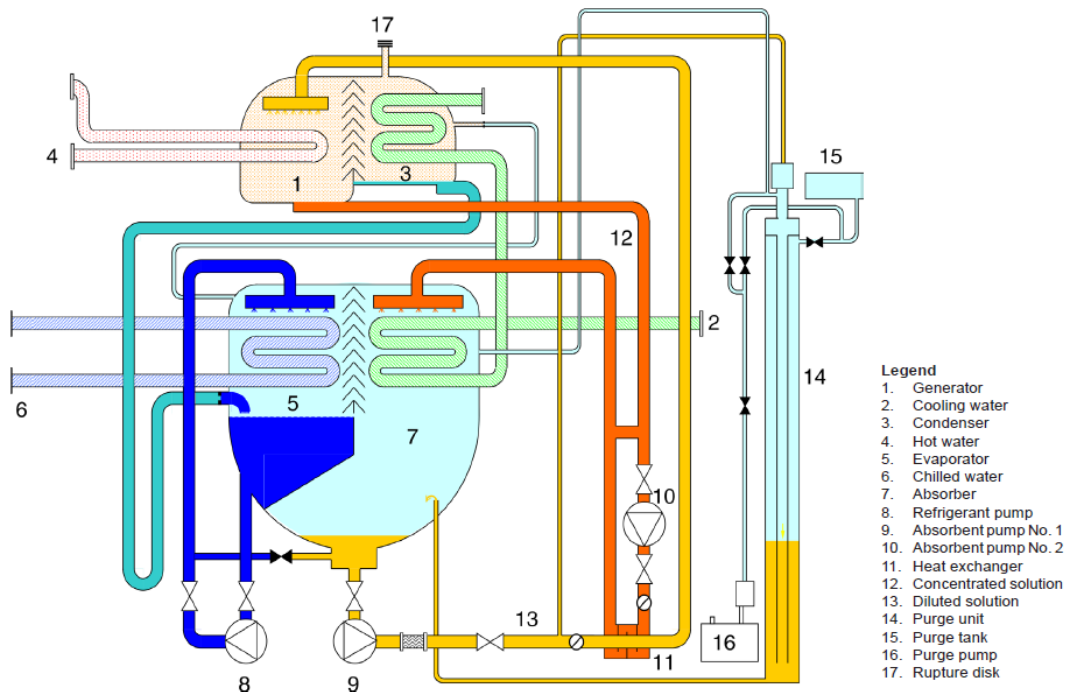
Kuva 9 Hukkalämpövirran lämpötila kesä-syyskuussa

3.1 Absorptiolämpöpumppu paineilman tuotannossa

Tässä työssä tarkastellun absorptiolämpöpumpun hyödyntäminen paineilman tuotannossa perustuu haastatteluihin laitetoimittaja Carrierin kanssa. Taulukossa 4 on esitetty tämän yksivaiheisen vesi-litiumbromidi absorptiojäähdyttimen teknisiä tietoja. Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty havainnekuva laitteistosta.

Taulukko 4 Absorptiolämpöpumppu Harjavallan Suurteollisuuspuiston paineilmantuotannossa

	Yksivaiheinen (single-effect) H ₂ O-LiBr-absorptiojäähdytin 16LJ-F 14
Laitetoimittaja	Carrier
Toiminta alue (in / out)	Käyttöenergia 75 / 65 °C Välijäähdytys 30 / 36 °C Tuotettu jäähdytys 17 / 12 °C
Jäähdytyskapasiteetti	475 kW
Laitteen koko	Pituus 3,65 m Leveys 2,43 m Korkeus 1,4 m
Laitteen paino	Käytönaikainen paino 5 600 kg Paino (kuljetus) 4 600 kg



Kuva 10 Yksivaiheiset (single-effect) H₂O-LiBr-absorptiojäähdytin 16LJ-F 11 -82

3.2 Teknologiavertailu

Selvitystyössä absorptiolämpöpumppujäähdytystä verrattiin niin sanottuun "tavanomaiseen jäähdytysratkaisuun". Harjavallan Suurteollisuuspuiston paineilman tuotannon jäähdytystarpeisiin voitaisiin kesäkuukausia lukuun ottamatta käyttää alueen jokivettä. Kesäkuukausina jokivesi on kuitenkin liian lämmintä eli ympärivuotinen käyttö ei ole mahdollista. Näin ollen, selvitystyössä vertailtiin absorptiolämpöpumppua kompressorijäähdytyksen ja suorajäähdytyksen yhdistelmään, jonka katsottiin olevan kustannustehokkain vaihtoehto absorptiolle.

Vertailun lähtökohtana oli absorptiolämpöpumpun ympärivuotinen käyttö hyödyntäen lauhde-energiana joko ilmaa tai jokivettä (0 EUR/MWh). Hukkalämmön hinnaksi työssä oletettiin myös 0 EUR/MWh.

Suorajäähdytyksen ja jäähdytyskoneen yhdistelmä -vaihtoehdossa jäähdytyskonetta käytettäisiin ainoastaan touko-syyskuussa käyttökustannusten minimoimiseksi. Muun osan vuotta jäähdytys tuotettaisiin jokivedellä, minkä hinnaksi oletettiin 0 EUR/MWh. Molempien laitteistojen mitoitustehona pidettiin kesäajan jäähdytystarvetta 420 kW.

Taulukossa 5 alla on esitetty teknologiavertailun lähtöparametrit sekä laskennallisesti määritellyt kustannukset tuotetulle jäähdytykselle.

Taulukko 5 Vertailu eri teknologiaratkaisuista jäähdytyksen tuotantoon

		Absorptiolämpöpumppu	Jäähdytyskone
Jäähdytyksen vuosituotanto	GWh	2,70	1,46
Laitteiston mitoitus	kW	420	420
Sähkön vuosikulutus	MWh	27	488
Kustannukset			
Investointi-kustannukset*	EUR	184 000	226 000
Käyttö-kustannukset**	EUR/a	3 500	49 700
Elinkaari	a	15	15
Investoinnin jakaminen 15 vuodelle	EUR/a	12 000	15 000
Tuotetun jäähdytyksen kustannus	EUR/MWh	5,8	43,6

* Sisältää: laiteinvestointi, asennus ja putkityöt

**Sisältää: sähkönkäyttö, sähkönsiirto sekä käyttö- ja kunnossapito

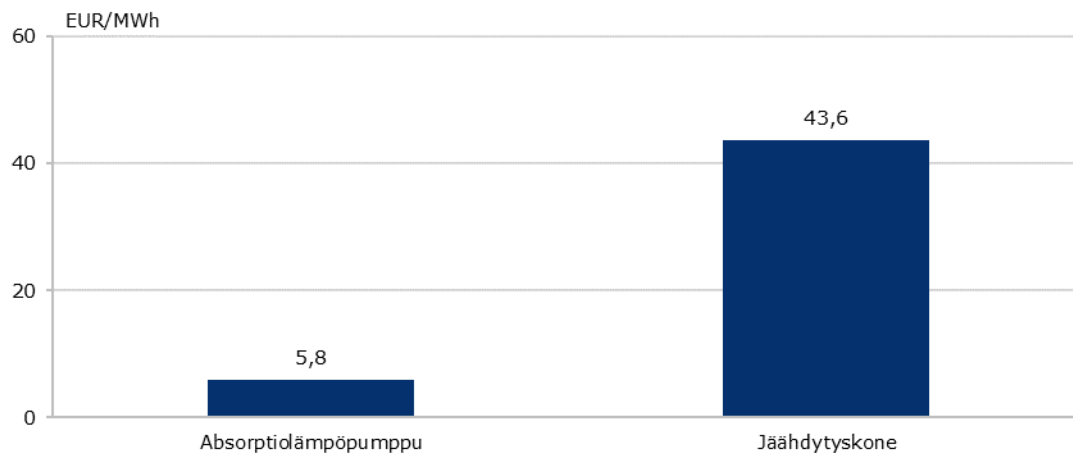
Sähkönkäytön kustannukset laskettu vuoden 2021 Elspot hinnoilla

Jäähdytyskoneen COP = 3

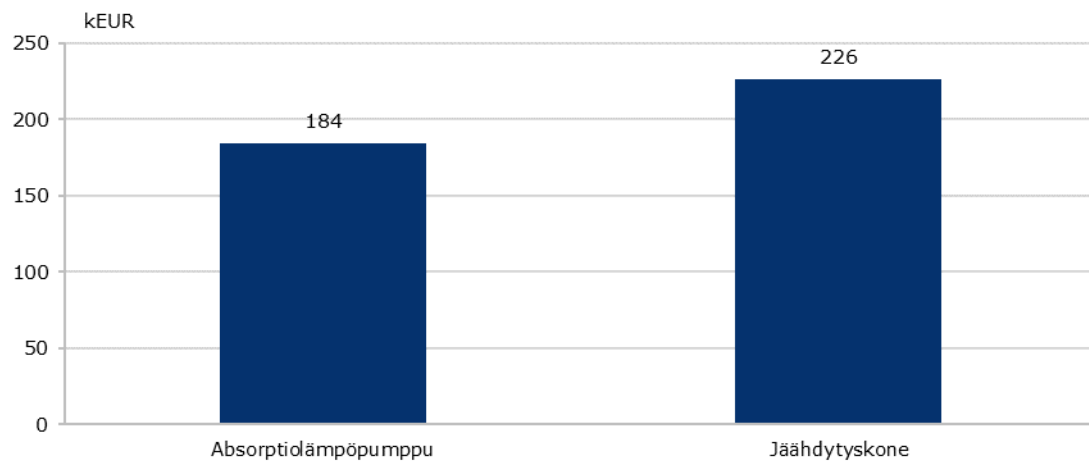
4. JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Hukkalämmön hyödyntäminen paineilman tuotannossa

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty tuotetun jäähdytyksen kustannukset eri tuotantotavoilla sekä tuotantotapojen investointiarviot. Kuten kuvista nähdään, on vertailun perusteella absorptiolämpöpumppu kannattava ratkaisu. Kustannukset tuotetusta jäähdytyksestä jäävät pieniksi ja vaadittavat investointikustannukset ovat pienemmät kuin vaihtoehdoisessa ratkaisussa.



Kuva 11 Tuotetun jäähdytyksen kustannus eri tuotantotavoilla



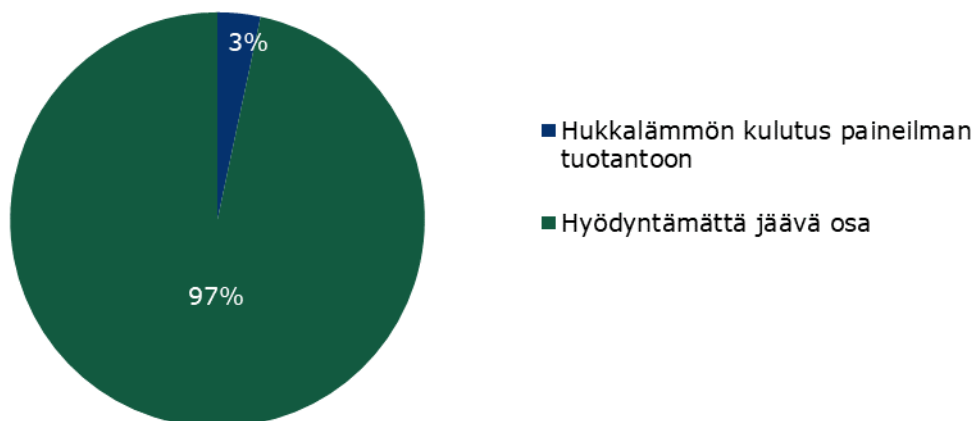
Kuva 12 Investointikulut eri tuotantotavoilla

Alhaisen investoinnin ja tuotetun jäähdytyksen kustannuksen lisäksi absorptiojäähdytyksellä voidaan saavuttaa myös seuraavia ympäristöhyötyjä:

- Pohjaveden käyttöä paineilman tuotannon jäähdytyksessä voidaan vähentää.
- Sähkönkulutus on hyvin pientä.
- Osa hukkalämmöstä saadaan hyödynnettyä.
- Jos lauhtukseen käytetään ilmaa, ei jokivettä tarvitse käyttää jäähdytykseen.
- Kokonaisuudessaan ratkaisun hiilijalanjälki jää erittäin pieneksi.

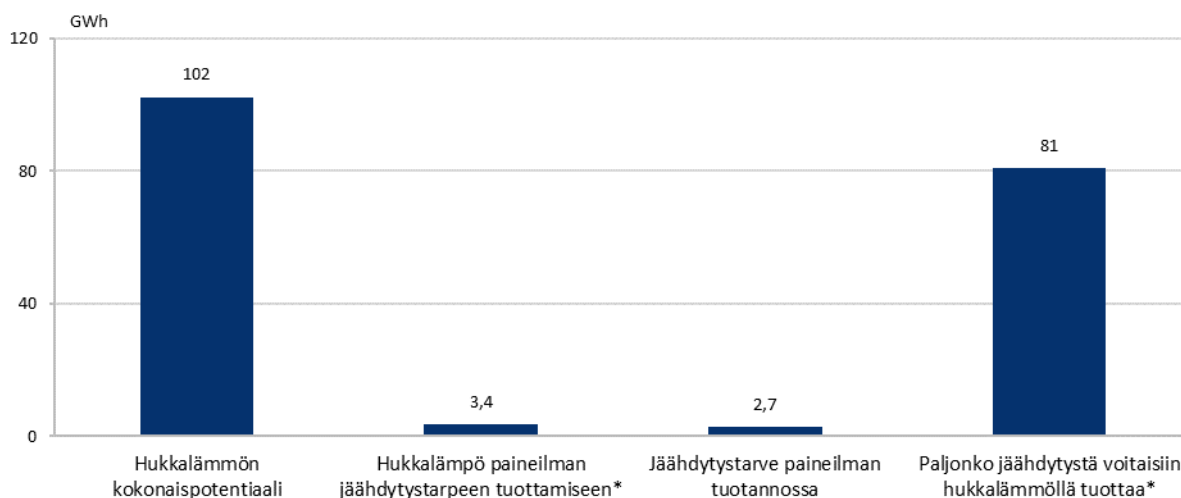
4.2 Hukkalämmön hyödyntäminen muissa jäähdytyskohteissa

Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueella on hukkalämpöä runsaasti tarjolla jäähdytyksen tuotantoon. Kuvassa 13 on esitetty työssä tarkastellun hukkalämpövirran koko energiamäärä suhteessa paineilman tuotannon jäähdytykseen tarvittavasta hukkalämmöstä. Kuten kuvasta nähdään, voidaan paineilman tuotannossa hyödyntää vain murto-osa saatavilla olevasta hukkalämmöstä.



Kuva 13 Tarkastellun hukkalämpövirran kokonaispotentiaali

Työssä tarkastellulla esimerkki-hukkalämpövirralla jäähdytystä voitaisiin tuottaa yli 80 GWh, kuten nähdään alla olevasta kuvasta 14. Absorptiolämpöpumppuja ja niiden avulla hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää myös alueen muissa jäähdytyskohteissa. Jo käytössä olevia jäähdytysratkaisuja voitaisiin korvata absorptiolla ja myös kohteita, joissa ei vielä hyödynnetä jäähdytystä, voidaan ottaa jäähdytyksen piiriin. Muiden jäähdytyskohteiden jäähdytys voitaisiin toteuttaa mitoittamalla alueelle joko useampi pienempi absorptiolämpöpumppu tai vaihtoehtoisesti yksi suurempi yksikkö. Muiden jäähdytyskohteiden osalta kohteiden sijainti on olennainen hankkeiden kannattavuuksien kannalta.



*Absorptiolämpöpumpun jäähdytystehon suhde käytettyyn lämpötehoon 0,79

Kuva 14 Tarkastellun hukkalämpövirran koko energiamäärä, energiamäärä mikä tästä hyödynnettäisiin paineilman tuotannossa sekä kokonaisjäähdytysenergia mitä tällä hukkalämmöllä voitaisiin tuottaa

5. JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET

Alla on listattu tämän selvitystyön perusteella syntyneitä jatkotoimenpidesuosituksia Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueella:

- 1. Alueen muiden jäähdytstarpeiden kartoitus:**
 - Kartoitus kohteista, joissa hyödynnetään jo jäähdytystä (kohteiden sijainti, koko, nykyinen jäähdytysratkaisu)
 - Kartoitus kohteista, joissa voitaisiin hyödyntää jäähdytystä (kohteen sijainti, koko, hyödyt jäähdytyksen käyttöönotosta kohteessa)
 - Tarkastelu kaukojäähdytysverkosta alueella
- 2. Jäähdytysjärjestelmän yksityiskohtaisempi suunnittelu ja kannattavuuden tarkastelu**
- 3. Absorptiolämpöpumpputoimittajien laajempi kartoitus**
- 4. Jäähdytysratkaisun kilpailutus**

6. LÄHTEET

Koljonen T. ja Sipilä K, 1998, Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

Valor, 2016, Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Energiateollisuus, saatavilla: https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_2908_16_paivitetty.pdf

Laitinen A., Rämä M., ja Airaksinen M. 2006, Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut, saatavilla: https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf

Carrier, Product selection data, Single-effect hot water absorption chillers

Dansk FjernVarme, 2021, Thisted, saatavilla: <https://www.geotermi.dk/english/geothermal-plants/thisted/>

Savosolar, 2021, Løgumkloster Fjernvarme, saatavilla: <https://savosolar.com/case/logumkloster-fjernvarme-denmark/>

Sorsa B, 2018, KEKSINTÖ: Kaukokylmä helpottaa helteellä, Tekijä, saatavilla: <https://tekijalehti.fi/2018/08/09/keksinto-kaukokylma-helpottaa-helteella/>

Thermax, 2021, All you need to know about the absorption chiller market, saatavilla: <https://www.thermaxglobal.com/all-you-need-to-know-about-the-absorption-chiller-market/>