

Aleksi Kivisaari

# **Vaasan keskussairaalan aluejäähdytyksen lauhdelämmön hyödyntäminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Aleksi Kivisaari

Työn nimi: Vaasan keskussairaalan aluejäähdytyksen lauhdelämmön hyödyntäminen

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 68

Liitteiden lukumäärä: 3

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lämmön talteenottomenetelmiä aluejäähdytysjärjestelmän tuottaman lauhdelämmön hyödyntämiseksi Vaasan keskussairaalsaa.

Työssä käydään yleisesti läpi jäähdytysprosessia ja siihen liittyviä komponentteja sekä lämmön varastointimenetelmiä. Lisäksi työssä kuvataan Vaasan keskussairaalan aluejäähdytysjärjestelmän toiminta ja esitellään kohteeseen soveltuvia lämmön talteenottomenetelmiä.

Opinnäytetyössä selvitettiin Vaasan keskussairaalan keskimääräinen jäähdytysenergian kulutus, jonka avulla laskettiin vuotuinen hyödynnettävissä oleva lauhde-energian määrä. Sen perusteella suoritettiin kannattavuuslaskelmat erityyppisille lämmön talteenottomenetelmille.

Avainsanat: lämpö, talteenotto, hyödyntäminen, jäähdytyslaitokset, jäähdytys, keskussairaalat

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Aleksi Kivisaari

Title of thesis: Utilization of waste heat from Vaasa Central Hospital's area cooling system

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2016                      Number of pages: 68      Number of appendices: 3

---

The purpose of the thesis was to study the heat recovery methods to utilize the waste heat produced in Vaasa Central Hospital's area cooling system.

The thesis dealt generally with the cooling process and its related components, and heat storage methods. In addition, the thesis described the area cooling system Vaasa Central Hospital uses and presented suitable heat recovery methods that could be utilized in Vaasa Central Hospital.

The thesis studied the average annual cooling load in Vaasa Central Hospital, which was used to calculate the quantity of annual exploitable condensate energy. On the basis of the quantity, profitability calculations of different heat recovery methods were made.

Keywords: heat recovery, utilizing, refrigeration plants, refrigeration, central hospitals

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
1 JOHDANTO.....	7
2 JÄÄHDYTYSPROSESSI JA SEN KOMPONENTIT.....	8
2.1 Perusteet.....	8
2.2 Komponentit.....	10
2.2.1 Kompressorit.....	10
2.2.2 Lauhduksimet.....	13
2.2.3 Paisuntalaitteet.....	16
2.2.4 Höyrystin.....	20
2.2.5 Putkisto.....	21
2.2.6 Kylmäkerroin ja lämpökerroin.....	21
2.3 Jäähdytysprosessi teoriassa ja käytännössä.....	23
2.4 Kylmäaineet.....	25
2.4.1 Kylmäaineiden luokittelu.....	25
2.4.2 Kylmäaineiden kehitys.....	26
2.4.3 Luonnonmukaiset kylmäaineet.....	28
3 LÄMMÖN TALTEENOTTO.....	31
3.1 Lauhdelämmön talteenotto.....	32
3.2 Lauhdelämmön varastointi.....	33
3.2.1 Maanpäällinen vesisäiliö.....	34
3.2.2 Maanalainen vesivarasto (ATES).....	35
3.2.3 Porakaivovarasto (BTES).....	37
3.2.4 Lumen varastointi ja jäähdytys (SSS).....	39
3.2.5 Kallioluolavarasto (CTES).....	40
4 VAASAN KESKUSSAIRAALAN ALUEJÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ.....	42
4.1 Järjestelmän kuvaus.....	42
4.1.1 Järjestelmän laajuus ja teho.....	43

4.1.2	Toimintaperiaate .....	43
4.1.3	Hyödynnettävissä olevan lauhdelämmön määrä .....	44
<b>5</b>	<b>LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN</b> .....	<b>46</b>
5.1	Lauhdelämmön hyödyntämiskohteet kohteessa .....	46
5.1.1	Varastointi.....	46
5.1.2	Rakennusten lämmitys.....	47
5.1.3	Käyttöveden esilämmitys .....	48
5.1.4	Lauhdelämmön myynti.....	49
5.1.5	Toisarvoisten tilojen lämmitys .....	50
5.2	Kohteeseen soveltuvat lämmön talteenottojärjestelmät .....	50
5.2.1	Lauhdelämmön hyödyntäminen lämmönsiirrinten avulla .....	51
5.2.2	Lauhdelämmön talteenotto lämpöpumpulla .....	51
5.3	Kannattavuuslaskelmat .....	51
<b>6</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>53</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>55</b>
	<b>LIITTEET</b> .....	<b>58</b>

## Kuvioluettelo

Kuvio 1. Kylmätekkinen kiertoprosessi. (Kaappola 2011, 17). .....	9
Kuvio 2. Hermeettinen, puolihhermeettinen ja avokompressori (AhlSELL 2015, [viitattu 3.2.2016]).....	11
Kuvio 3. Ruuvikompressori (Teca, [viitattu 3.2.2016]).....	11
Kuvio 4. Scroll-kompressori (NTL-World, 2008).....	12
Kuvio 5. Rotaatiokompressorin toimintaperiaate ( Globalspec, [viitattu 3.2.2016]). .....	12
Kuvio 6. Ilmalauhduttimen toiminta ( Alfa Laval, [viitattu 3.2.2016]). .....	13
Kuvio 7. Moniputkilauhdutin . Lauhduttava vesi kiertää vaipan sisällä olevissa putkissa, ja lauhdutettava kylmäaine vaipassa. ( Alfa Laval, [viitattu 3.2.2016]). ..	14
Kuvio 8. Koaksiaalilauhdutin. Lauhduttava vesi virtaa putkessa, jonka ympärille kylmäaineputki on kierretty. (Ref-wiki, [viitattu 3.2.2016]). .....	14
Kuvio 9. Levylämmönsiirrin. Toisiinsa kiinnitettyjen poimulevyjen joka toisessa välissä virtaa lauhdutettava vesi ja toisessa lauhdutettava kylmäaine. ( Nibley, [viitattu 12.4.2016]). .....	15
Kuvio 10. Suora ja välillinen lauhdutus. (Kaappola 2011, 75). .....	16
Kuvio 11. Termostaattinen paisuntaventtiili (Danfoss, [viitattu 3.2.2016]). .....	18
Kuvio 12. Termostaattinen paisuntaventtiili varustettuna ulkoisella paineentasauksella (Danfoss, [viitattu 3.2.2016]).....	19
Kuvio 13. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa. (Rautala 2010.) ..	23
Kuvio 14. Todellinen kylmäprosessi. (Hakala ym. 2005, 13).....	24
Kuvio 15. Konvektion periaate (KMS-Science, [viitattu 10.3.2016]). .....	31

Kuvio 16. Lämpövaraston lämpötilojen kehitys (Hellström, [viitattu 20.3.2016]). ..	34
Kuvio 17. Lämmön varaaminen vesisäiliöön jäähdytyskäytössä (DN Tanks, [viitattu 10.4.2016]).....	35
Kuvio 18. ATES-systeemin periaate. (Nordell 2012, 2).....	36
Kuvio 19. Arlandan lentokenttä, jäähdytyskäyttö (Underground Energy, [viitattu 9.4.2016]).....	37
Kuvio 20. Arlandan lentokenttä, lämmityskäyttö (Underground Energy, [viitattu 9.4.2016]).....	37
Kuvio 21. Lämpöenergian lataus ja purkaminen porakaivovarastossa (Hellström, [viitattu 20.3.2016], 17). .....	38
Kuvio 22. Maanalainen lumivarasto, periaatekuva (Nordell 2012, 5). .....	39
Kuvio 23 Sundsvallin aluesairaala, lumijäähdytys (Advantage Environment, [viitattu 20.3.2016]).....	40
Kuvio 24 Lyckebon kallioluolavarasto Ruotsissa, periaatekuva (Hellström, [viitattu 20.3.2016], 24).....	41
Kuvio 25 Vaasan keskussairaalan aluekartta (Vaasan keskussairaala, [viitattu 1.4.2016]).).....	43
Kuvio 26 Vuotuisen jäähdytysenergian kasvu Vaasan keskussairaalassa. ....	45

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Vaasan keskussairaalan (VKS) aluejäähdytyksen tuottaman lauhdelämmön hyödyntämiskeinoja. Aluejäähdytysjärjestelmä kattaa tällä hetkellä lähes kaikki VKS:n alueella olevien rakennusten jäähdytyksen. Jäähdytys toteutetaan keskitetysti aluejäähdytyskeskuksessa vedenjäähdytyskoneilla. Lauhdutus tapahtuu talviaikaan vapaajäähdytyksellä, ja muuna aikana nestejäähdyttimien avulla.

Opinnäytetyössä käsitellään ensin jäähdytysprosessia, siihen liittyviä komponentteja ja kylmäaineita. Työssä käydään läpi myös lauhdelämmön erilaisia varastointimenetelmiä. Perusteiden jälkeen työssä kuvataan VKS:n aluejäähdytysjärjestelmä ja sen toiminta, sekä selvitetään vuotuinen hyödynnettävissä oleva lauhdeenergian määrä.

Lopuksi työssä syvennyttään lauhdelämmön hyödyntämiseen kohteessa, eli millä menetelmillä ja mihin toimintoihin lauhdelämpöä voitaisiin hyödyntää. Lopuksi esitetään kannattavuuslaskelmat eri vaihtoehdoille.



## 2 JÄÄHDYTYSPROSESSI JA SEN KOMPONENTIT

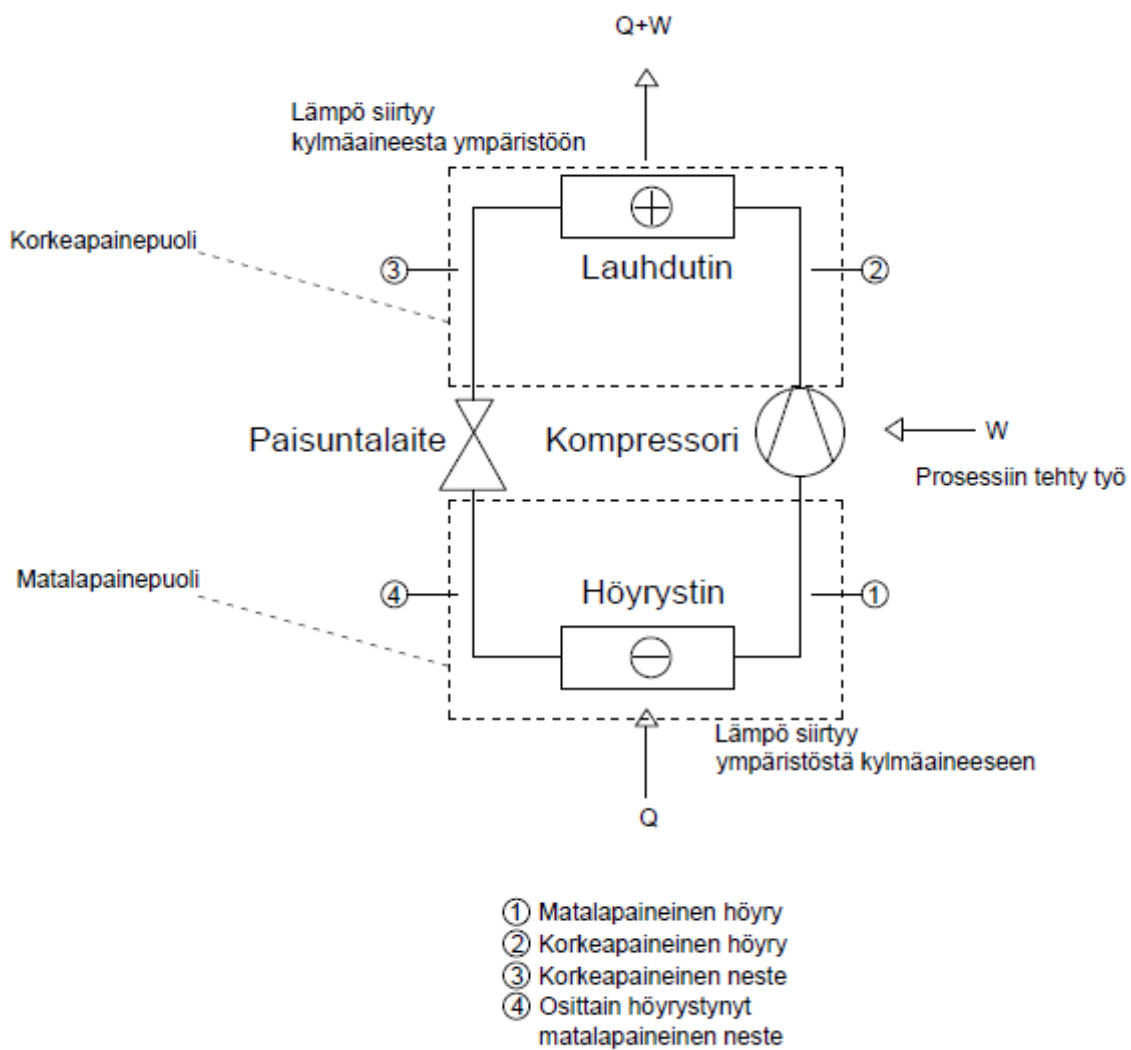
Tässä kappaleessa käsitellään jäähdytysprosessin periaate ja siihen liittyvät pääkomponentit lyhyesti.

### 2.1 Perusteet

Kylmän tekeminen pohjautuu useimmissa kylmäkoneissa kiertoprosessiin, jossa koneistossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu eri painetasoilla. Kiertoprosessissa siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan prosessiin tehdyn työn avulla.

Höyrystimessä matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine imetään sitten kompressoriin, jossa kylmäaine puristetaan korkeampaan paineeseen. Puristuksen aikana kylmäaine tulistuu ja sen lämpötila nousee merkittävästi. Tulistunut höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa se jälleen tiivistyy nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä ympäristöön. Lauhduttimelta kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa lauhtuneen kylmäainesteen paine ja lämpötila laskevat. Ohittaessaan paisuntalaitteen kylmäaineen sanotaan tulleen laitteiston matalapainepuolelle. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa alusta. (Hirvelä, Jokela & Kaappola 2011, 17-18.)

Kuvio 1 on esitetty kylmäteknisen kiertoprosessin periaate ja se, missä olomuodossa kylmäaine esiintyy prosessin eri osissa.



Kuvio 1. Kylmätekniinen kiertoprosessi. (Kaappola 2011, 17).

## 2.2 Komponentit

Kylmälaitoksen muodostaviin pääkomponentteihin kuuluvat kompressori, lauhtutin, paisuntalaite, höyrystin ja putkisto. Tässä kappaleessa esitetään edellä mainittujen komponenttien tehtävät ja erilaiset variaatiot lyhyesti. Erilaisia suodattimia, kytkimiä ja säätimiä tai mittareita ei tässä yhteydessä käsitellä.

### 2.2.1 Kompressorit

Kompressorin tehtävä kylmäprosessissa on kylmäaineen paineen korottaminen höyrystyslämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Paine-eron takia kylmäaine siirtyy lauhtuttimesta takaisin höyrystimeen.

Kompressorit jaetaan hermeettisiin, puolihermeettisiin ja avokompressoreihin riippuen kompressorin rakenteesta.

**Hermeettisessä** kompressorissa sähkömoottori ja kompressori on sijoitettu tiiviin, hitsatun kuoren sisään. Hermeettisiä kompressoreita käytetään kotitalouksien jää- ja pakastekaapeissa, pienissä kaupan kylmälaitteissa, kylmähuoneissa, ilmastoinnin jäähdytyskoneissa, vedenjäähdytyskoneissa ja lämpöpumpuissa. Hermeettisten kompressoreiden huolto on vaikeaa, joten kompressorin rikkoutuessa se yleensä vaihdetaan uuteen. (Hirvelä ym. 2011, 51-52.)

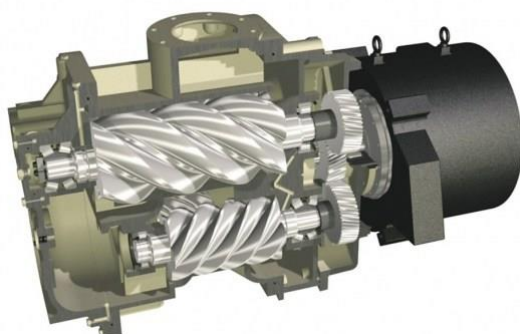
**Puolihermeettisessä** kompressorissa kuori on avattava, jolloin kompressori on korjattavissa. Puolihermeettisiä kompressoreita käytetään kaupan kylmäkoneistoissa sekä ilmastoinnin ja prosessien vedenjäähdytyskoneissa.

**Avokompressoriin** tuodaan ulkopuolinen käyttövoima akselilla kompressorin kuoren läpi. Moottorista avokompressoriin voima siirtyy joko akselikytkimen tai hihnan välityksellä. Avokompressoreiden käyttökohteita ovat ajoneuvojen ilmastoinnin jäähdytyskoneet, kuormatilojen ja teollisuuden kylmäkoneistot. Kuvio 2 on esitetty edellä mainitut kompressorityypit.

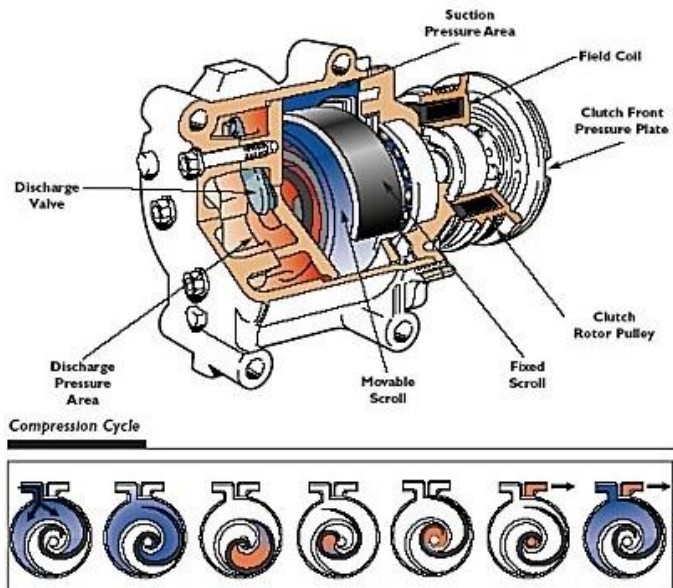


Kuvio 2. Hermeettinen, puolihhermeettinen ja avokompressorit (Ahlsell 2015, [viitattu 3.2.2016]).Kuvio 1

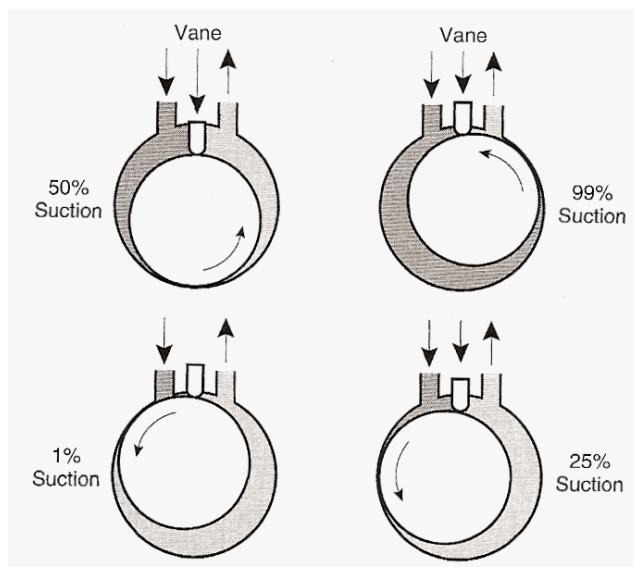
Kompressorit voivat olla turbokompressoreita, pyörivämäntäisiä kompressoreita, kiertomäntäkompressoreita tai mäntäkompressoreita. Tunnetuin pyörivämäntäinen kompressorit on ruuvikompressorit, joka on esitetty Kuvio 3. Scroll- eli kierukka-kompressorit (Kuvio 4) ja rotaatio- eli kiertomäntäkompressorit (Kuvio 5) ovat tyypillään kiertomäntäkompressoreita. (Hirvelä ym. 2011, 51-53.)



Kuvio 3. Ruuvikompressorit (Teca, [viitattu 3.2.2016]).



Kuvio 4. Scroll-kompressorit (NTL-World, 2008).



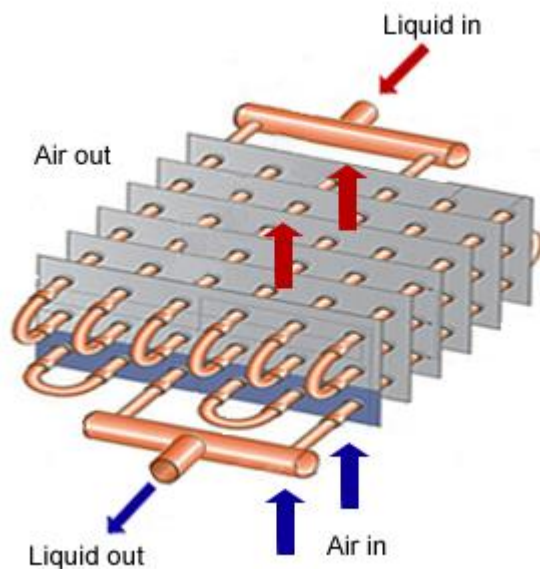
Kuvio 5. Rotaatiokompressorin toimintaperiaate ( Globalspec, [viitattu 3.2.2016]).

## 2.2.2 Lauhduttimet

Lauhduttimessa kompressorin puristama kylmäainehöyry nesteytyy. Yleisimmät käytössä olevat lauhdutintyypit ovat ilma- tai nestejäähdytteisiä.

**Ilmajäähdytteiset lauhduttimet** ovat luotettavia, helppoja huoltaa sekä taloudellisia, eikä niissä ole jäätymisvaaraa. Ilmajäähdytteiset lauhduttimet ovat Pohjolan olosuhteissa edullisin vaihtoehto aina 1 MW:n tehoon saakka. Haittapuolina ilma-lauhduttimilla on suurehko tilantarve ja kylmäaineen määrä sekä melu. (Hirvelä ym. 2011, 55.)

Ilmalauhduttimessa kompressorilta tuleva kylmäaine johdetaan lauhduttimen kennoon, jonka läpi puhalletaan ilmaa. Kenno koostuu yleensä alumiinilamelleista ja kupariputkista. Kylmäaineen sisältämä lämpö siirtyy johtumalla kupariputkista lamellien kautta virtaavaan ilmaan. Ilmalauhduttimen toimintaperiaate on esitetty Kuvio 6. Puhaltimia voidaan ohjata joko portaattain käynnistämällä ja pysäyttämällä puhallinmoottoreita tai portaattomasti taajuusmuuttajalla tai tyristorisäätimellä.



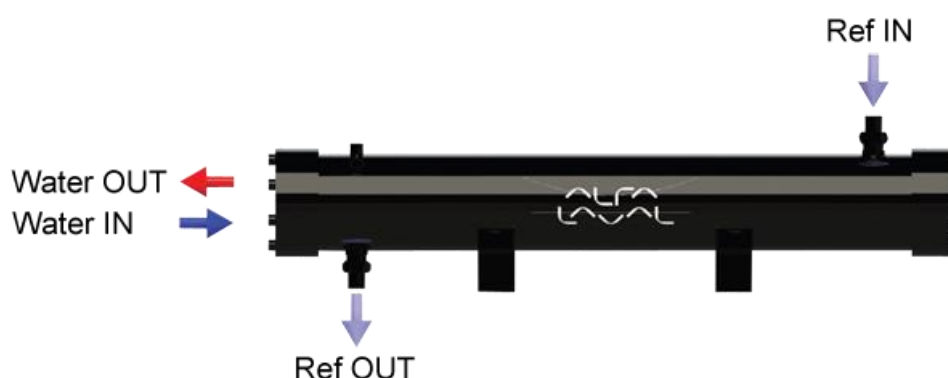
Kuvio 6. Ilmalauhduttimen toiminta ( Alfa Laval, [viitattu 3.2.2016]).

**Nestelauhduttimia** käytetään, kun kylmäaineen määrä halutaan pitää pienenä, kun kompressorin ja ilmalauhduttimen välinen etäisyys olisi liian suuri tai jos halutaan hyödyntää lauhdelämpöä. Nestelauhduttimissa käytettävä väliaine on pakka-

sen kestävää nestettä, kuten etyleeniglykolin ja veden seos. ( Hirvelä ym. 2011, 55.)

Vesijäähdytteiset lauhduttimet soveltuvat kohteisiin, joissa on käytettävissä edullista, niin sanottua teknistä vettä. Sen takia niiden käyttö on yleisempää teollisuudessa kuin asuin- ja liikerakennuksissa.

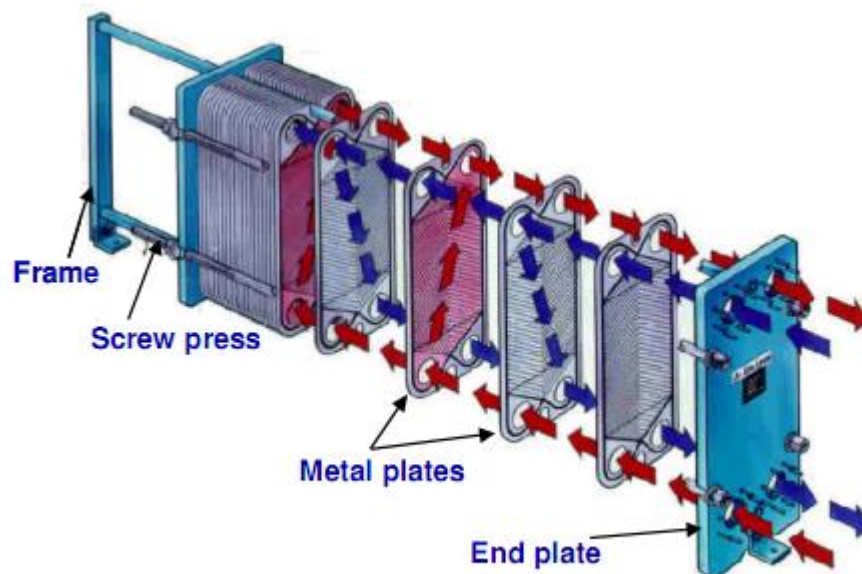
Neste- ja vesilauhduttimet voivat olla rakenteeltaan moniputkilauhduttimen, koaksiaalilauhduttimen tai levylämmönsiirtimen tyyppisiä lauhduttimia. Kuvio 7, Kuvio 8 ja 9 on esitetty erilaisten nestelauhduttimien toimintaperiaatteet.



Kuvio 7. Moniputkilauhdutin . Lauhduttava vesi kiertää vaipan sisällä olevissa putkissa, ja lauhdutettava kylmäaine vaipassa. ( Alfa Laval, [viitattu 3.2.2016]).



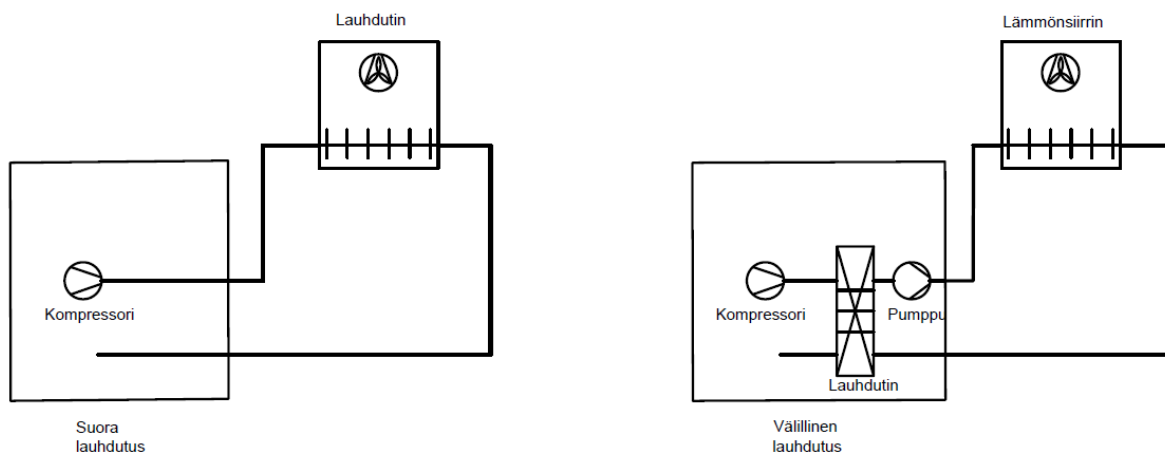
Kuvio 8. Koaksiaalilauhdutin. Lauhduttava vesi virtaa putkessa, jonka ympärille kylmäaineputki on kierretty. (Ref-wiki, [viitattu 3.2.2016]).



Kuvio 9. Levylämmönsiirrin. Toisiinsa kiinnitettyjen poimulevyjen joka toisessa välissä virtaa lauhduttava vesi ja toisessa lauhdutettava kylmäaine. ( Nibley, [viitattu 12.4.2016]).

Lauhdutus voi olla joko suoraa tai välillistä. Suoran lauhdutuksen tapauksessa lauhdutin on suoraan yhteydessä lämmitettävään aineeseen, kuten ilmaan. Välillisessä lauhdutuksessa lauhdutin on kosketuksissa väliaineeseen, kuten glykoli-vesiseokseen, ja väliaine on lämmönsiirtimen välityksellä kosketuksessa lämmitettävään aineeseen. Jotta kylmäaineen sisältämä lämpö siirtyisi lämmitettävään aineeseen, kuten ilmaan, on ilman lämpötilan oltava tulistuneen kylmäaineen lämpötilaa matalampi. Kuvio 10 esittää suoran ja välillisen lauhdutuksen periaatteet. (Kaappola 2011,55).





Kuvio 10. Suora ja välillinen lauhdutus. (Kaappola 2011, 75).

### 2.2.3 Paisuntalaitteet

Paisuntaventtiin tehtävänä on varmistaa paine-ero korkea- ja matalapainepuolen välillä sekä säätää kylmäaineen syöttöä höyrystimen kuormituksen mukaan. Paisuntaventtiilissä nestemäisen kylmäaineen paine laskee ja se muuttuu neste-höyryseokseksi. (Nydal 1994,60.)

Kylmäprosessin kylmäainevirran ohjaamiseen on useita vaihtoehtoja. Paisuntalaitteena voidaan käyttää käsisäätöventtiileitä, paisuntaventtiileitä, kapillaariputkea tai uimuriventtiileitä. (Nydal 1994, 108).

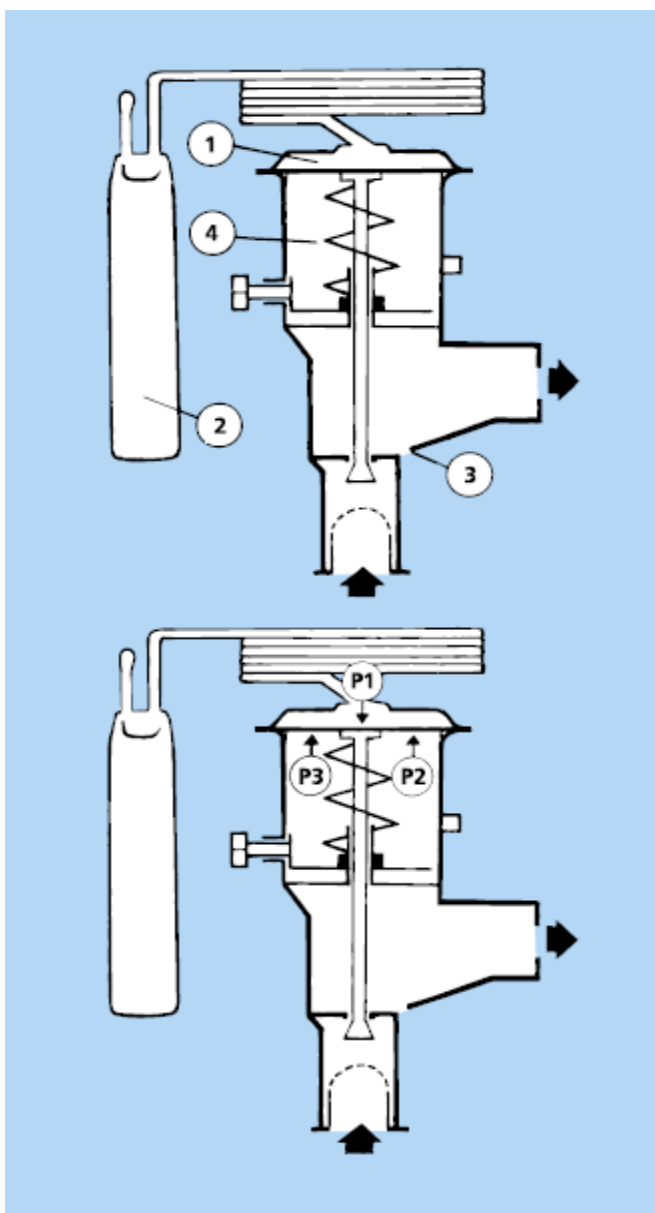
**Käsisäätöventtiilissä** nestevirran suuruus riippuu suuttimessa tapahtuvasta painehäviöstä ja avautumisasteen tai läpivirtausaukon suuruudesta. Käsisäädössä höyrystimen kuormituksen muutokset eivät vaikuta säätöön. Sen takia venttiiliä on jälkikäädettävä jatkuvasti, jotta nestevirta olisi kuormituksen mukainen. Muussa tapauksessa höyrystimeen virtaa liikaa nestettä alhaisella kuormituksella, ja kuormituksen kasvaessa nestevirta höyrystimelle on riittämätön. Tämän takia nesteputkeen on ennen käsisäätöventtiiliä asennettava magneettiventtiili, joka sulkee nesteen virtauksen kompressorin pysähtyessä. (Nydal 1994, 109.)

**Kapillaariputki** on yksinkertaisesti pitkä putki, jonka sisähalkaisija on hyvin pieni, yleensä 0,5-1,5 mm. Kapillaariputkia käytetään paljon pienissä, tehdasvalmisteisissa kylmäkoneistoissa, kuten esimerkiksi jääkaapeissa ja pakastimissa. Kylmäkoneiston kylmätehon ja kapillaariputken sisähalkaisijan perusteella on löydettävä putkipituus, joka saa aikaan riittävän painehäviön. Kylmäaine kohtaa virtausvastusta virratessaan kapillaariputken läpi. Kylmäaineen paine laskee, kunnes se alkaa höyrystyä, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat edelleen. Kylmäaine saavuttaa höyrystymislämpötilansa ja -paineensa kapillaariputken viimeisessä neljänneksessä. Kapillaariputken oikea pituus määritellään kokeilemalla. Putken pienen sisähalkaisijan takia on tavallista asentaa nesteputkeen suodatin ennen kapillaariputkea.

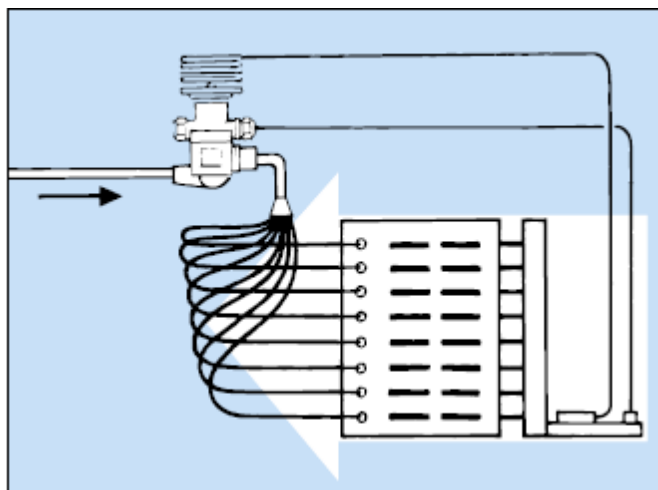
Kapillaariputki on hyvin toimintavarma, koska siinä ei ole liikkuvia osia. Kompressorin pysähtyessä kylmäaine jatkaa virtaustaan höyrystimeen, kunnes korkea- ja matalapainepuolen paineet ovat tasoittuneet. Kaikki kylmäaine ei mahdu höyrystimeen seisontajakson aikana, joten sitä varten höyrystimen jälkeen on asennettava pieni säiliö, imuakku. Tällä suojataan kompressoria nesteiskuilta.

**Paisuntaventtiileitä** on automaattisia, termostaattisia ja sähköisiä. Automaattisten paisuntaventtiilien käyttö on pääosin loppunut. Tilalle on tullut termostaattinen paisuntaventtiili, joka on nykyään yleisin säätöventtiili. Venttiileitä valmistetaan eri kylmäaineille ja niillä on suhteellisen hyvät säätöominaisuudet. Termostaattiseen paisuntaventtiiliin liittyy olennaisesti termoelementti, joka on kaasulla tai nesteellä täytetty suljettu järjestelmä. Yleensä termoelementti sisältää samaa kylmäainetta kuin itse kylmälaitos. Termoelementin tuntoelin liitetään höyrystimen jälkeen imuputkeen. Kuvio 11 on esitetty termostaattisen paisuntaventtiilin osat ja toiminta. Termostaattinen elementti (1) ja venttiilirunko on erotettu toisistaan kalvolla. Anturi (2) on yhdistetty termoelementtiin kapillaariputkella. Venttiilirungossa on venttiilistukka (3) ja jousi (4). Venttiilin toimintaan vaikuttaa kolme eri painetta. Tuntoelimen paine (P1) pyrkii avaamaan venttiiliä. Paineeseen P1 vaikuttaa lämpötila siinä pisteessä, mihin tuntoelin on kiinnitetty. Venttiiliin sulkevasti vaikuttavat paineet ovat höyrystymispaine (P2) ja jousipaine (P3). Paisuntaventtiilin säätäessä vallitsee tasapaino  $P1 = P2 + P3$ . Kuvio 11 paisuntaventtiilissä on sisäinen paineentasaus, eli kalvon alapuolella vallitsee sama paine kuin paisuntaventtiilin sisällä suut-

timen jälkeen. Suurissa höyrystimissä tai höyrystimissä, joissa käytetään nestejakajaa, käytetään ulkoisella paineentasauksella varustettua paisuntaventtiiliä. Ulkoinen paineentasaus tarkoittaa, että venttiilin tuntoelimen jälkeen imuputkesta vedetään paineentasausputki paisuntaventtiilille. Kuvio 12 on termostaattinen paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella, kun käytetään nestejakajaa. Kuvio 12 paisuntaventtiilissä vallitsee kalvon alapuolella höyrystimen jälkeinen paine. Tällöin paisuntaventtiilin ja höyrystimen välinen painehäviö eikä höyrystimen sisäinen painehäviö vaikuta paisuntaventtiilin toimintaan.



Kuvio 11. Termostaattinen paisuntaventtiili (Danfoss, [viitattu 3.2.2016]).



Kuvio 12. Termostaattinen paisuntaventtiili varustettuna ulkoisella paineentasauksella (Danfoss, [viitattu 3.2.2016]).

Sähköisesti toimiva paisuntaventtiili koostuu säätimestä, sähköisesti toimivasta venttiilistä, lämpötila-anturista ja painelähettimestä. Paine- ja lämpötilamittausten avulla säädin määrittää kylmäaineen tulistumisen ja ohjaa tämän perusteella paisuntaventtiilin toimintaa. Sähköinen paisuntaventtiili toimii joko pulssisäätöisesti tai se säätää jatkuvasti. Sähköisen paisuntaventtiilin etuna on sen säätötarkkuus. Se voidaan myös yhdistää rakennusautomaatiojärjestelmään, mikä mahdollistaa venttiilin optimoinnin laitokseen sopivaksi.

**Uimuriventtiiliä** käytetään lauhduttimien, höyrystimien, nesteenerottimien, välipainesäiliöiden ja välijäähdyttimien pinnansäätöön. Uimuriventtiilillä ohjataan joko suoraan kylmäainevirtaa, magneettiventtiiliä tai säätöventtiiliä. Matalapaineuimuriventtiiliä käytetään säätämään nestepintaa kylmälaitoksen matalapainepuolella nesteenerottimessa, välijäähdyttimessä ja märkähöyrystimessä. Venttiili avautuu nestepinnan laskiessa. Korkeapaineuimuriventtiilillä säädetään nestepintaa kylmälaitoksen korkeapainepuolella nestesäilössä ja lauhduttimessa. Venttiili avautuu nestepinnan noustessa. (Aittomäki 2012, 214-220), (Nydal 1994,107-118).

## 2.2.4 Höyrystin

Höyrystyessään kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ympäristöstä, joten höyrystin on sijoitettava jäähdytettävään kohteeseen. Höyrystynyt kylmäaine sitoo lämpöä höyrystinputkien seinämistä. Höyrystinputkien pinnat jäähtyvät, jolloin ne sitovat ympäristön lämpöä itseensä. Höyrystimen läpi virtaava ilma siis jäähtyy edellyttäen, että ilman lämpötila on korkeampi kuin matalapaineisen kylmäaineen höyrystymislämpötila. Höyrystinmalleja ovat luonnollisen ilmankierron höyrystimet, puhallinhöyrystimet, levylämmönsiirtimet ja moniputkihöyrystimet. Ensin mainittuja käytetään kylmähuoneissa ja -varastoissa. Niiden toiminta perustuu painovoimaan. Höyrystimessä jäähtynyt kylmempi ilma valuu raskaampana alaspäin ja saa näin ilman kiertämään tilassa. Puhallinhöyrystimet on varustettu puhaltimilla, joiden avulla saadaan kierrätettyä ilmaa höyrystimen läpi. Tämän tyyppisiä höyrystimiä käytetään kylmä- ja pakkastiloissa. Luonnollisen ilmankierron höyrystimet ja puhallinhöyrystimet soveltuvat suoraan höyrysteisiin järjestelmiin, joissa höyrystin on kosketuksessa jäähdytettävään aineeseen, kuten ilmaan. Ilmaa jäähdytettäessä on huolehdittava kondenssiveden poistosta. Höyrystimet varustetaan sulatustoiminnolla, koska höyrystimen pintaan kertyvä jää heikentää höyrystimen ilmavirtaa ja siten kylmätehoa. Sulatus voidaan toteuttaa ilmasulatuksella, sähkösulatuksella tai kuumakaasusulatuksella. Sähkö- ja kuumakaasusulatuksessa myös höyrystinlohkojen alla olevia sulatusvesialtaita lämmitetään, jotta sulamisvedet valuisivat viemäriin eivätkä jäätyisi. (Kaappola 2011, 59-60, 75).

Välillisessä jäähdytyksessä käytetään levylämmönsiirtimiä tai moniputkihöyrystimiä. Höyrystin on tällöin kosketuksessa väliaineeseen, kuten glykoli-vesiseokseen, joka puolestaan on kosketuksessa jäähdytettävään aineeseen lämmönsiirtimen välityksellä. Levylämmönsiirtimen sekä moniputkihöyrystimen rakenteet tai toiminta eivät poikkea lauhdutinkäyttöön verrattuna. Ainoa eroavaisuus on, että lauhdutavan nesteen sijaan käytetään höyrystimissä jäähdyttävää nestettä. (Hirvelä ym. 2011, 60, 75).

### 2.2.5 Putkisto

Kylmälaitokseen kuuluu muiden pääkomponenttien lisäksi myös putkisto, jonka tehtävänä on siirtää kylmäainetta kylmälaitteistossa. Putkimateriaalina käytetään yleensä kylmälaatua olevaa kuparia tai teräspuutkea. Putket tulee mitoittaa siten, että kylmäaine sekä sen mukana kiertävä kompressorin voiteluöljy palaavat molemmat hallitusti kompressorille. ( Hirvelä ym. 2011, 61).

### 2.2.6 Kylmäkerroin ja lämpökerroin

Kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetään nimitystä kylmäkerroin. Kylmäkerroin voidaan laskea kaavalla 1 seuraavasti:

$$\varepsilon = Q_0 / W \quad (1)$$

missä

$\varepsilon$  = kylmäkerroin

$Q_0$  = höyrystimen sitoma lämpö [J]

$W$  = kompressorin tekemä työ [J]

Lämpökerrointa käytetään kuvaamaan lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämpökerroin lasketaan kaavalla 2:

$$\varphi = Q_L / W \quad (2)$$

missä

$\varphi$  = lämpökerroin

$Q_L$  = lauhduttimen luovuttama lämpö [J]

$W$  = kompressorin tekemä työ [J]

Lämpökerroin voidaan laskea myös kylmäkerroimen avulla seuraavasti.

$$\varphi = \varepsilon + 1 \quad (3)$$

missä

$\varphi$  = lämpökerroin

$\varepsilon$  = kylmäkerroin

Ideaalisesta kiertoprosessista käytetään nimitystä Carnot-prosessi. Suurin mahdollinen kylmäkerroin voidaan laskea seuraavasti:

$$\varepsilon = T_0 / (T_L - T_0) \quad (4)$$

missä

$\varepsilon$  = kylmäkerroin

$T_0$  = matalampi lämpötilataso [K]

$T_L$  = korkeampi lämpötilataso [K]

ja vastaavasti suurin mahdollinen lämpökerroin

$$\varphi = T_L / (T_L - T_0) \quad (5)$$

missä

$\varphi$  = lämpökerroin

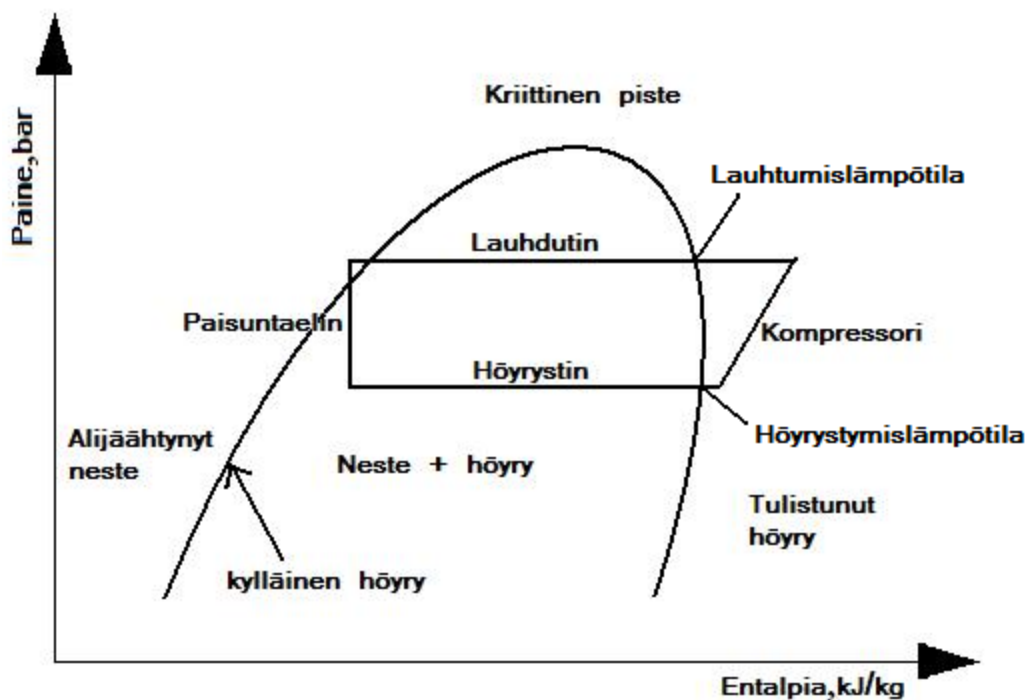
$T_0$  = matalampi lämpötilataso [K]

$T_L$  = korkeampi lämpötilataso [K]

( Hakala & Kaappola 2005, 10-11).

### 2.3 Jäähdytysprosessi teoriassa ja käytännössä

Teoreettisessa eli häviöttömässä kylmäprosessissa höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakioaineessa ja puristusprosessissa ei tapahdu lämmönsiirtoa. Kuvio 13 on esitetty teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa.

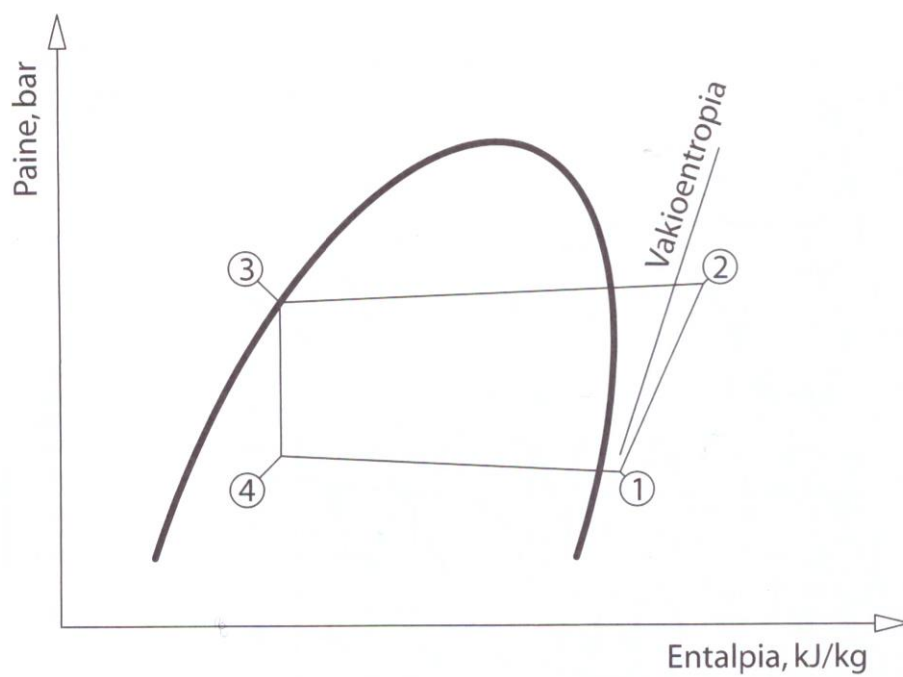


Kuvio 13. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa. (Rautala 2010).

Käytännössä kylmäprosessi ei ole häviötön, vaan kompressorissa, lauhtuttimessa ja höyrystimessä tapahtuu painehäviöitä. Myös lämpöhäviöitä tapahtuu puristuksessa ja imuputkessa. Imuputkeksi kutsutaan kylmälaitteiston matalapainepuolella olevaa putkiston osaa. Korkeapainepuolella olevaa putkiston osaa kutsutaan vastaavasti paineputkeksi. (Hakala 2005, 12).

Kuvio 14 on esitetty kylmäprosessi käytännössä.





Kuvio 14. Todellinen kylmäprosessi. (Hakala ym. 2005, 13).

## 2.4 Kylmäaineet

Kylmäprosessissa kiertävä kylmäaine on nesteytettyä kaasua, jonka tehtävä on siirtää lämpöä kylmäkoneistossa.

### 2.4.1 Kylmäaineiden luokittelu

Kylmäaineet jaotellaan turvallisuutensa perusteella useaan ryhmään EN-378-1 –normin mukaan. Turvallisuusluokat perustuvat kylmäaineen myrkyllisyyteen ja syttymisherkkyyteen.

Syttymisherkkyyssuokkia on kolme:

- 1) Ilmassa palamattomat
- 2) Alempi syttymisraja ilmassa on vähintään 3,5 til.- %
- 3) Alempi syttymisraja ilmassa on enintään 3,5 til.- %

Myrkyllisyysluokat ovat:

- A. Aineet, joiden sallittu työpaikkapitoisuus on yli 400 ppm
- B. Aineet, joiden sallittu työpaikkapitoisuus on enintään 400 ppm.

Käyttöturvallisuuden perusteella luokkia on siis kuusi, mutta yksinkertaistettu turvallisuusluokitus jakaa aineet kolmeen luokkaan (L) syttymisherkkyyss- ja myrkyllisyysluokkien perusteella:

L1: A1

L2: A2, B1, B2

L3: A3, B3

Kylmäkoneistoissa sallittu kylmäaineen määrä riippuu luokasta ja konetilan luonteesta.

Kylmäaineet voidaan ryhmitellä monin eri tavoin, mutta yksi yleinen tapa ryhmitellä tärkeimmät kylmäaineet on jakaa ne kolmeen luokkaan: puhtaat hiilivedyt, hiilivedyistä johdetut yhdisteet ja epäorgaaniset aineet.

Toinen yleinen tapa on luokitella kylmäaineet koostumuksen mukaan:

- 1) Klooria ja fluoria sisältävät CFC-kylmäaineet
- 2) Vetyä, klooria ja fluoria sisältävät HCFC-kylmäaineet
- 3) Vetyä ja fluoria sisältävät HFC-kylmäaineet
- 4) Rengasyhdisteet RC-kylmäaineet
- 5) Pelkästään fluoria sisältävät PFC-kylmäaineet
- 6) Puhtaat hiilivedyt eli HC-kylmäaineet.

Kylmäaineiden ympäristövaikutuksille on kehitetty myös omat tunnuslukunsa, ODP ja GWP. ODP-luku ilmoittaa kylmäaineen suhteellisen otsonihaitallisuuden, ja sen referenssilukuna käytetään kylmäaineen R11 haitallisuuslukua 1,0. GWP-luku ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden, ja sen referenssilukuna käytetään hiilidioksidin haitallisuuslukua 1,0. (Aittomäki 2012, 102-105.)

#### **2.4.2 Kylmäaineiden kehitys**

1800-luvulla rakennetussa, ensimmäisessä toimivassa kylmäkoneistossa käytettiin kylmäaineena eetteriä, mutta vaarallisuutensa takia siitä oli luovuttava nopeasti. Sen jälkeen on kokeiltu myös joitakin hiilivetyjä, kuten etaania, etyylikloridia ja metyylikloridia. Kuitenkin jo varhain käyttöön otetut hiilidioksidi, rikkidioksidi ja ammoniakki pysyivät pitkään tärkeimpinä kylmäaineina. Näistä rikkidioksidi on poistunut käytöstä kokonaan. Sitä käytettiin pienissä laitoksissa ja jääkaapeissa. Hiilidioksidin käytöstä luovuttiin 1950-luvulla huonon hyötysuhteen ja suuren höyrynpaineen vuoksi. Varsinkin laivojen jäähdytyslaitoksissa hiilidioksidin käyttö oli yleistä. Ympäristöystävällisyytensä takia se on kuitenkin tulossa uudelleen käyttöön parannetuissa prosesseissa ja koneikon komponenteissa. Ammoniakki taas on muutamis-

ta haittapuolistaan huolimatta jäänyt laajalti käyttöön etenkin suurissa koneistoissa. Ammoniakin ominaisuuksia käsitellään myöhemmin tässä luvussa.

1930-luvulla löydettiin ensimmäiset hiilivedyistä johdetut yhdisteet. Niin sanotuissa halogeenihiilivedyissä vetyatomeja on korvattu halogeeniatomeilla. Ensimmäiset löydetyt halogeenihiilivedyt eli CFC-kylmäaineet olivat R12 ja R11 sekä R22. Näiden kylmäaineiden kemialliset ominaisuudet olivat hyviä ja fysiologisia vaikutuksia pidettiin vähäisinä pitkään. 1970-luvulla käsityksiä CFC-aineiden turvallisuudesta jouduttiin muuttamaan, koska todettiin, että aineet vaikuttivat muun muassa keskushermostoon pitkäaikaisissa altistuksissa. Myös CFC-aineiden laajamittaisen käytön vaikutuksia ilmakehään alettiin tiedostaa. CFC-yhdisteet heikentävät stratosfäärissä sijaitsevaa otsonikerrosta. Yhteisestä aikataulusta CFC-aineiden käytön rajoittamiseksi sovittiin kansainvälisesti ensimmäisen kerran Montrealissa vuonna 1987. Suomessa CFC-kylmäaineita ei ole saanut käyttää kylmälaitteissa, jotka on valmistettu 31.12.1994 jälkeen. EU-maissa CFC-yhdisteiden käyttö kiellettiin kokonaan vuodesta 2001 alkaen. Myös vetyä sisältävät HCFC-yhdisteet todettiin haitallisiksi ja käytön rajoitukset laajennettiin koskemaan myös niitä. HCFC-kylmäaineiden käyttö päättyy vuonna 2029 voimassa olevan UNEP-sopimuksen mukaisesti. EU-maissa HCFC-yhdisteiden käyttökielto uusissa laitteissa tuli voimaan vuonna 2000 ja käyttökielto huolloissa vuonna 2010 alkaen. Vanhan aineen kierrätys puhdistamalla oli mahdollista vuoteen 2014 asti. Käytöstä poistuneita kylmäaineita ovat R11, R12, R22, R13 ja R13B1, R502 sekä seokset, joiden yhtenä tai useampana komponenttina oli HCFC-aine. Näitä yhdisteitä olivat R301, R402, R403, R408, R409 ja R413. (Aittomäki 2012, 106-110.)

Klooria sisältävistä yhdisteistä on jouduttu luopumaan niiden otsonikerrokseen kohdistuvien haittojen takia. Tärkein tilalle tullut ryhmä on HFC-kylmäaineet, eli vain fluoria sisältävät yhdisteet. HFC-yhdisteillä on pyritty korvaamaan vanhoja, käytöstä poistettuja tai poistuvia kylmäaineita, kuten R11, R12, R22 ja R502. Tärkeimmät, ja yleisimmät käytössä olevat HFC-yhdisteet, joiden ominaisuudet ovat lähinnä edellä mainittuja kylmäaineita, ovat puhdas yksikomponenttinen R134A sekä seokset R404A, R407C, R410A ja R507.

Kylmäaineina käytettävillä HFC-yhdisteillä GWP-arvot vaihtelevat aineesta riippuen välillä 4-4000. Näillekin kylmäaineille on tullut rajoituksia niiden ilmakehään

kohdistuvan lämmitysvaikutuksen takia. EU:n F-kaasuasetus julkaistiin toukokuussa 2014, ja uusittu asetus astui voimaan 1.1.2015. Uuden F-kaasuasetuksen tavoitteena on kannustaa F-kaasujen käytöstä siirtymistä esimerkiksi luonnollisiin kylmäaineisiin aina, kun se on teknisesti mahdollista. Asetus rajoittaa myös erittäin voimakkaiden F-kaasujen (GWP>2500) käyttöä vuodesta 2020 alkaen. Kierrätettyjen aineiden käyttö huollossa on sallittua vuoteen 2030 asti. Tulevat kiellot koskevat vain uusia laitteita, vanhojen laitteiden käyttö on jatkossakin sallittua.

HFC-yhdisteiden lisäksi pyritään jatkuvasti löytämään uusia kylmäaineita, jotka täyttävät ympäristövaatimukset myös matalan GWP-arvon osalta. Yksi paljon toiveita herättänyt ryhmä on HFO-, eli vety-fluori-olefiini -yhdisteet. Näistä esimerkiksi R1234yf on jo USA:ssa hyväksytty autojen ilmastoinnin uudeksi kylmäaineeksi, R134a:n korvaajaksi. (Aittomäki 2012, 111-115.)

### 2.4.3 Luonnonmukaiset kylmäaineet

Luonnollisia kylmäaineita ovat vesi, ilma, ammoniakki, hiilivedyt ja hiilidioksidi. Jotta aine olisi luonnollinen kylmäaine, on sitä esiinnyttävä jossain muodossa tai jossain määrin jo valmiiksi ympäristössä. Halogeenihiilivetytyypohjaisten kylmäaineiden kasviuonehaitan takia on jouduttu hakemaan vaihtoehtoisia aineita, joista luonnolliset kylmäaineet ovat olleet vahvimmin esillä. Vesi ja ilma tulevat kylmäaineina kyseeseen vain erityiskohteissa, mutta muut ovat yleisemmässä käytössä.

**Hiilivedyt.** Hiilivedyt eivät sisällä klooria, joten ne ovat haitattomia otsonikerrokselle (ODP=0). Myös niiden kasviuonevaikutus ei ole merkittävä GDP-arvon ollessa 20. Hiilivedyt ovat myös myrkyttömiä. Fysikaalisten ominaisuuksien perusteella kylmäaineiksi soveltuvat propaani R290, butaani R600 ja propeeni R1270. Myös edellä mainittujen seoksia käytetään. Hiilivedyillä on pyritty korvaamaan kylmäaineet R12 ja R22. Hiilivetyjä käytetään pienkojeissa, kuten kotitalouksien jääkaapeissa, pienissä lämpöpumpuissa ja jonkin verran myymälöiden jäähdytysjärjestelmissä. Hiilivetyjen merkittävä etu on vähäiset yhteensopivuusongelmat muiden materiaalien kanssa.

**Hiilidioksidi.** Hiilidioksidia CO<sub>2</sub> alettiin käyttää elintarvikekuljetusten jäähdytyksessä 1800-luvulla. Laivoissa hiilidioksidin käyttö jatkui 1930-luvulle saakka, jolloin pienemmän koneikon ja paremman kylmäkertoimen omaavat halogeenihiilivedyt syrjäyttivät sen. Hiilidioksidia alettiin kehittää uudelleen 1990-luvun alussa jälleen turvallisuussyistä, niin sanottujen vanhojen kylmäaineiden ympäristöongelmien takia. Ensimmäisenä hiilidioksidia alettiin käyttää autojen jäähdytyslaitteissa, sen jälkeen välillisten järjestelmien lämmönsiirtoaineena ja myöhemmin myös kylmäaineena. Hiilidioksidia käytetään nykyään paljon markettien järjestelmissä sekä pakastelaitoksissa. Myös erityisesti käyttöveden lämmitykseen käytettävissä lämpöpumpuissa kylmäaineena käytetään hiilidioksidia. Hiilidioksidin etuja ovat sen haittattomuus, myrkyttömyys, palamattomuus, suuri tiheys ja höyrystymislämpö, alhainen viskositeetti, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa, laaja käyttöalue, edullisuus. Haittapuolina hiilidioksidilla pidetään vaadittavaa korkeaa painetta, vuotojen vaikeaa aistihavainnointia, huonoa kylmäkerrointa korkealla lämpötila-alueella ja paineen nousua laitteistossa, mikäli laitteisto on pysähdyksissä pidemmän aikaa.

**Ammoniakki.** Ammoniakki R717 on otettu käyttöön jo 1800-luvulla absorptio- ja kompressorikoneistoissa. Ammoniakki on tänä päivänäkin tärkeä kylmäaine erityisesti suurissa kylmälaitoksissa. Ammoniakin etuja ovat suuri höyrystymislämpö, alhainen viskositeetti, suuri tilavuustuotto, vuotojen helppo havainnointi aistinvaraisesti, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet ja edullisuus. Haittoja ovat ammoniakin myrkyllisyys, lauhduttimen korkea paine, voimakas tulistuminen, aggressiivisuus tiettyjen materiaalien kanssa, pieni moolimassa ja voimakas liukenevuus veteen.

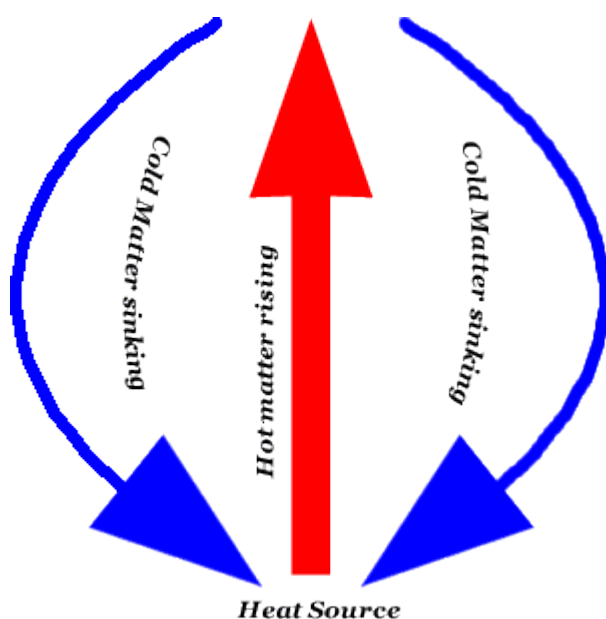
Ammoniakista on yli 120 vuoden kokemus kylmäaineena. Ammoniakin myrkyllisyydestä huolimatta suuria vahinkoja on sattunut vain muutamia katastrofitilanteisakin. Ammoniakkivuoto on hyvin helppo huomata pistävän hajun perusteella, ja silloinkin ammoniakkipitoisuus on hyvin vähäinen. Suurilla pitoisuuksilla ammoniakki aiheuttaa myrkytyksen ja kuoleman. Ammoniakki kuuluu kylmäaineluokkaan B3. Ammoniakin suurin sallittu määrä koneikossa on rajoitettu eri maiden normeissa 30-50 kg:aan kohteissa. Eräissä normeissa on vielä tiukempi rajoitus ylärajan ollessa 10 kg. Ammoniakin käyttö asettaa kylmälaitokselle erityisvaatimuksia, joita ovat muun muassa:

- ammoniakkin myrkyllisyys ja syttymisherkyys, ja niistä aiheutuvat turvallisuusvaatimukset
- kiellettyjä metalleja ammoniakkilaitteistossa ovat puhdas alumiini, kupari ja sen seokset ja sinkki
- normaalien hermeettisten ja puolihhermeettisten kompressoreiden käämitykset eivät kestä ammoniakkia
- alle -34 °C lämpötiloissa, jolloin ammoniakki on siis alipaineinen, tarvitaan ainakin suuriin koneistoihin ilmanpoistolaitteisto
- suodattimet ainakin ennen paisuntaventtiiliä ja kompressoria tulee asentaa ammoniakkin liuotemaisuuden takia
- voimakas tulistuminen puristuksessa aiheuttaa mäntäkompressoreiden jäähdyttämistarpeen
- tavallisin höyrystin ammoniakkilaitteistossa on ollut märkä tai pumppukierrotoinen höyrystin.

(Aittomäki 2012, 116-122.)

### 3 LÄMMÖN TALTEENOTTO

Lämmön talteenotolla tarkoitetaan missä tahansa prosessissa syntyvän lämmön, joka muutoin menisi hukkaan, talteenottoa ja uudelleenkäyttöä. Prosessi voi olla esimerkiksi rakennukselle ominainen tilojen lämmitys tai teollinen tuotantoprosessi, kuten sementin poltto. Lämmön talteenotto mahdollistaa pienemmän energiankulutuksen itse prosessissa, tai vaihtoehtoisesti talteen otettu lämpöenergia voidaan hyödyntää muualla. Lämmön talteenotto perustuu lämmön siirtymiseen korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Lämpöä voi siirtyä käytännössä joko johtamalla, säteilemällä tai konvektiolla. Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua, joista pakotettu konvektio on tehokkain tapa siirtää lämpöä. Pakotetussa konvektiossa ulkoinen voima, kuten puhallin tai pumppu, saa aikaan lämmön virtauksen väliaineessa. Kuvio 15 on esitetty konvektion periaate. (Hirvelä ym. 2011, 253; Carbontrust, [viitattu 10.3.2016].)



Kuvio 15. Konvektion periaate (KMS-Science, [viitattu 10.3.2016]).

Talteen otettavaa lämpöä on kotitalouksissa saatavilla muun muassa rakennuksen poistoilmasta ja jätevesistä. Poistoilmasta lämpöä otetaan talteen lämmönsiirtimeen ja jätevesistä lämmönvaihtimen avulla.



Teollisuudessa hukkalämpöä syntyy esimerkiksi poistohöyryinä, prosessi- ja savukaasuina, jätevesinä, jäähdytysvesinä sekä jäähdytyksen lauhdelämpönä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään jäähdytyksessä syntyvän lauhdelämmön talteenottoon ja hyödyntämiseen.

### 3.1 Lauhdelämmön talteenotto

Kylmälaitoksen lauhdutislämpö koostuu kolmesta tekijästä:

- tulistislämpö, jonka osuus n.20-30 % lauhdutustehosta
- lauhdutislämpö, jonka osuus n. 80-90 %
- alijäähdytys, jonka osuus n. 0-5 %.

Lauhduksista poistuvasta lämmöstä voidaan käyttää hyväksi joko yhdessä tai erikseen tulistislämpöä ja lauhdutislämpöä. Alijäähdytyksen lämpöäkin voidaan hyödyntää.

Jäähdytyksessä syntyvän lauhdeveden lämpötila on pääsääntöisesti alle 55 °C., mikä vaikeuttaa sen hyödyntämistä. Näin haalea lämpövirta ei sellaisenaan sovi käyttöveden valmistukseen tai myytäväksi kaukolämpöverkkoon, mutta käyttöveden esilämmitykseen se käy. Lauhteen lämpötilatasoa voidaan nostaa tarvittaessa lämpöpumpulla, mutta se taas lisää sähkönkulutusta. Myös lauhtumislämpötilaa voidaan nostaa, mutta 1K lauhtumislämpötilan nosto heikentää kylmäkerrointa noin 3 %. Tulistislämmön hyödyntäminen on hankalaa sen pienen osuuden vuoksi, mutta sillä lämmitettävän veden lämpötilataso on kylmäaineesta riippuen 40-70 °C. (Hakala ym., 2005, 211; Aittomäki 2012, 210).

Lauhdutislämpöä voidaan hyödyntää suoraan tilojen lämmitykseen varustamalla kylmälaitos yhdellä tai useammalla lisälauhduttimella, jotka asennetaan lämmitettäviin tiloihin. Lämpöä voidaan siirtää myös nesteeseen paineputkeen asennettavilla lämmönsiirtimillä. Tulistislämpöä voidaan hyödyntää erillisen kierron avulla.

Lauhdutuslämpöä hyödynnettäessä täytyy muistaa, että lauhdelämpö on vain kylmälaitoksessa syntyvä sivutuote, eikä kylmälaitoksen päätehtävä eli jäähdyttäminen saa häiriintyä. Myös lämmöntalteenottojärjestelmän tulee olla varmatoiminen. (Hakala ym. 2005,212, Aittomäki 2012, 212).

### 3.2 Lauhdelämmön varastointi

Lauhdelämpöä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä joko tilojen, tuloilman tai käyttöveden lämmitykseen. Ylimääräistä lämpöä on mahdollista myös myydä esimerkiksi kaukolämpöyhtiölle, mikäli lämpötilataso on tarpeeksi korkea. Lauhdelämpöä on saatavilla eniten jäähdytystarpeen ollessa korkeimmillaan, eli yleensä kesällä. Silloin tilojen lämmitystarve on pienimmillään, eikä lauhdelämpöä voida rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen välttämättä täysin hyödyntää. Silloin voi tulla kysymykseen ylimääräisen lämpöenergian varastointi myöhempää käyttöä varten.

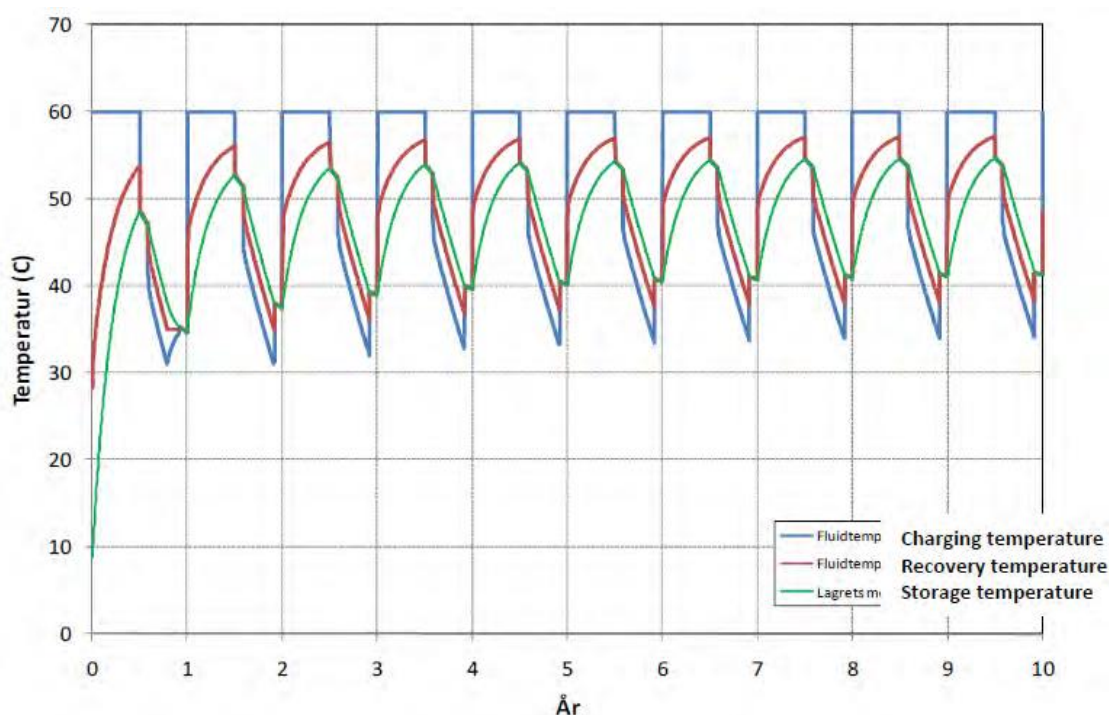
Lämpöenergiaa voidaan varastoida niin sanottuihin lämpöakkuihin. Lämpöakkuna voi toimia maanpäällisenä varastona esimerkiksi vesisäiliö, ja suuremmissa kohteissa esimerkiksi maaperä.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät lämpöenergian varastointimenetelmät perustuvat niin sanottuun tuntuvan lämmön varastointiin. Lämpöenergian varastointi voi perustua myös latenttilämmön eli sitoutuneen lämmön varastointiin tai termokemialliseen varastointiin. Näitä uudempia varastointitekniikoita ei käsitellä tässä työssä.

Tuntuvan lämmön varasto koostuu yleensä varastointimateriaalista, säiliöstä ja laitteistosta, jolla lämpöä syötetään varastoon tai puretaan siitä. Varastointimateriaalina käytetään yleensä vettä sen hyvän ominaislämpökapasiteetin ja edullisuuden takia. Varastointisäiliön lämpöhäviöt tulee ottaa huomioon materiaalivalinnoilla ja eristyksellä. Toisaalta, mitä suurempi varastointiastia on, sitä pienemmät ovat suhteelliset lämpöhäviöt. (Alanen ym. 2003, 12-13.)

Rakennuksen lämmitys- ja mahdollinen jäähdytysverkosto ovat lämmönsiirtimen välityksellä yhteydessä lämpövarastoon. Kesäaikana rakennuksessa on jäähdytys-

tarvetta, jolloin yllämpöä ladataan lämpövarastoon. Talvella rakennuksessa on lämmitystarvetta, ja silloin lämpöä otetaan käyttöön lämpövarastosta. Kesätilanteessa lämpövaraston lämpötila nousee, ja talvella laskee. Lämpövaraston hyötysuhde saavuttaa tavoitetasonsa noin muutamassa vuodessa, riippuen varastointimenetelmästä, sen suuruusluokasta ja alueellisista olosuhteista. Aluksi lämpövarastoa täytyy ladata lämpöenergialla, jotta sen lämpötila saadaan nousemaan ja vakiintumaan uudelle tasolle. Kuvio 16 on esitetty lämpövaraston lämpötilat ja varaston lataus- sekä purkamislämpötilat 10 vuoden ajalta. Kohde on Ruotsin Emmabodassa sijaitseva porakaivovarasto.



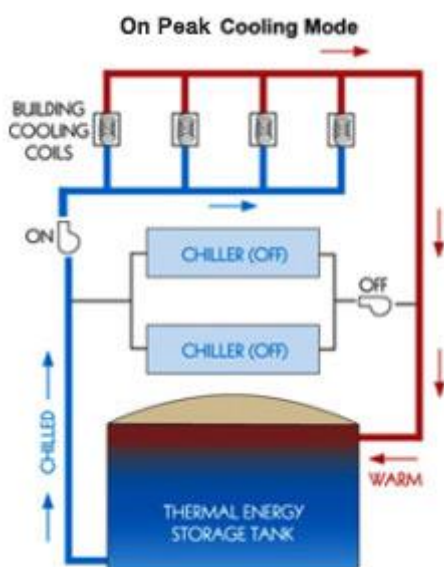
Kuvio 16. Lämpövaraston lämpötilojen kehitys (Hellström, [viitattu 20.3.2016]).

### 3.2.1 Maanpäällinen vesisäiliö

Lämmön varastointi vesisäiliöön on perinteinen lämmön varastointimenetelmä. Käytännön sovelluksena voidaan mainita lämminvesivaraaja, jossa lämmintä käytöväettä lämmitetään esimerkiksi yöllä, jolloin lämpimän käyttöveden tarve on pienempää. Vesisäiliöön varataan siis lämpöenergiaa kulutuksen ulkopuolella, ja varastoitua energiaa otetaan käyttöön silloin, kun sitä tarvitaan. Lämminvesivaraajissa pyritään hyödyntämään veden kerrostumista, eli veden luontaista ominaisuutta

kerrostua siten, että lämmin vesi nousee astian yläosaan ja kylmä vesi painuu alaosaan. Tällöin vesimassan eri lämpötiloja on mahdollista käyttää eri tarkoituksiin.

Kuvio 17 havainnollistetaan, kuinka jäähdytystilanteessa rakennuksesta poistettavaa lämpöä varataan vesimassaan. Tätä varastoitunutta lämpöä voidaan hyödyntää myöhemmässä vaiheessa rakennuksen lämmityksessä.



Kuvio 17. Lämmön varaaminen vesisäiliöön jäähdytyskäytössä (DN Tanks, [viitattu 10.4.2016]).

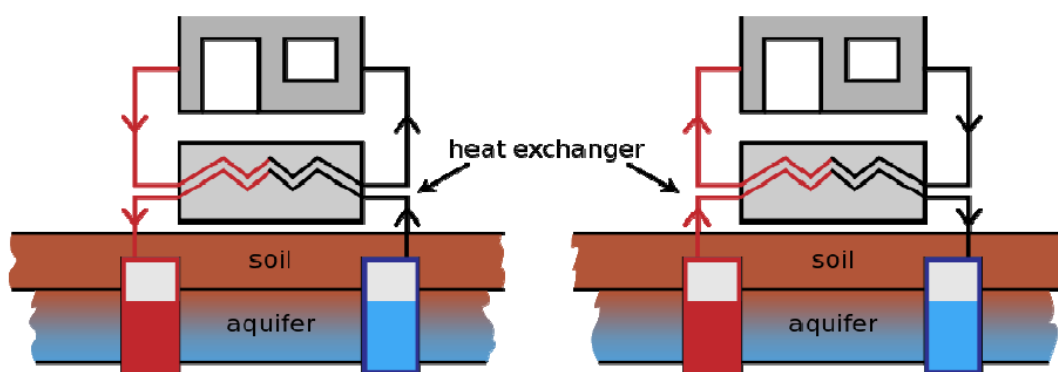
Fortum Oyj on rakentamassa Espoon Suomenojan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokselle kaukolämpöakkaa, jonka vesitilavuus on 20 000 m<sup>3</sup>. Vesisäiliöön voidaan varastoida noin 800 MWh lämpöenergiaa, mikä vastaa noin 13 000 omakotitalon päivittäistä lämmönkulutusta. (Fortum, 24.3.2015.)

### 3.2.2 Maanalainen vesivarasto (ATES)

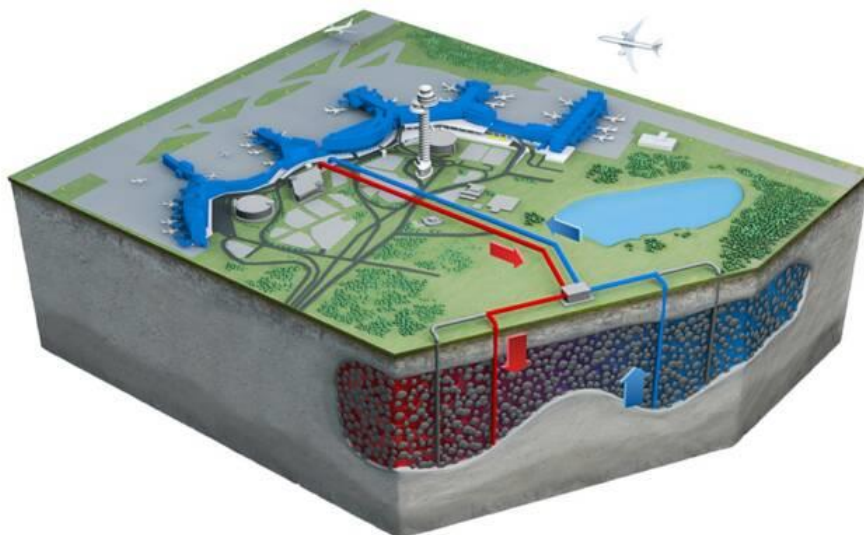
Aquifer Thermal Energy Storage eli ATES – tyyppisessä lämmön varastoinnissa pohjavettä pumpataan lämmönsiirtimeen, jossa pohjavettä lämmitetään tai jäähdytetään riippuen siitä, halutaanko rakennukseen tuoda lämpöä vai poistaa sitä. Sen jälkeen pohjavesi palautetaan takaisin samaan pohjavesivarastoon. Jäähdytystilassa viileää pohjavettä käytetään jäähdytykseen, ja ylimääräinen lämpö raken-

nuksesta varastoidaan lämmönsiirtimen kautta pohjaveteen. (Kuvio 18, vasen puoli, Kuvio 19.) Lämmityskäytössä pohjaveteen varastoitua lämpöä siirretään lämmönsiirtimen kautta rakennuksen lämmitysverkostoon, ja samalla pohjavesi jäähtyy. (Kuvio 18, oikea puoli, Kuvio 20.) Maanalainen vesivarasto sisältää vähintään kaksi porakaivoa, lämpöenergian purkua ja varastointia varten. Niillä on oltava omat kaivonsa, jotta kylmä ja lämmin pohjavesi eivät sekoittuisi keskenään. ATES-järjestelmää suunniteltaessa tulee perehtyä myös pohjaveden virtaukseen, liian nopea virtaus ei sovellu, koska silloin suuri osa maahan varastoidusta energiasta kulkeutuu virtausten mukana vesivaraston ulkopuolelle. Tällöin tuota lämpöä ei enää saada hyödynnettyä järjestelmässä. (Underground Energy; Nordell 2012.)

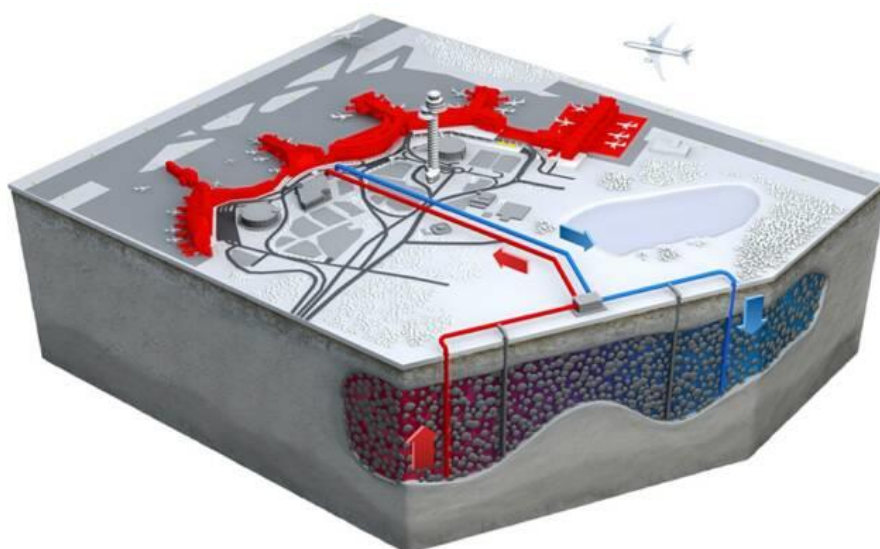
Suurin käytössä oleva ATES-järjestelmä löytyy Ruotsista, Arlandan lentokentältä. Siellä maanalaisen lämpövaraston koko on 2 000 000 m<sup>3</sup>, josta noin 30 % on vettä. Lämmityskaudella vesivarastosta pumpataan lämpöenergiaa tuloilman esilämmitykseen ja lentokoneiden pysäköintipaikkojen sulatukseen. Jäähdyneellä vedellä jäähdytetään vesivarastoa. Kesällä vesivarastosta pumpataan jäähdytysenergiaa tuloilman viilennykseen. Lämmenneellä vedellä lämmitetään vesivarastoa. Järjestelmä on vähentänyt lentokentän sähkönkulutusta arviolta 4 GWh ja kaukolämmönkulutusta 10 GWh vuodessa. (Hellström, [viitattu 20.3.2016], 5.)



Kuvio 18. ATES-systeemin periaate. (Nordell 2012, 2).



Kuvio 19. Arlandan lentokenttä, jäähdytyskäyttö (Underground Energy, [viitattu 9.4.2016]).



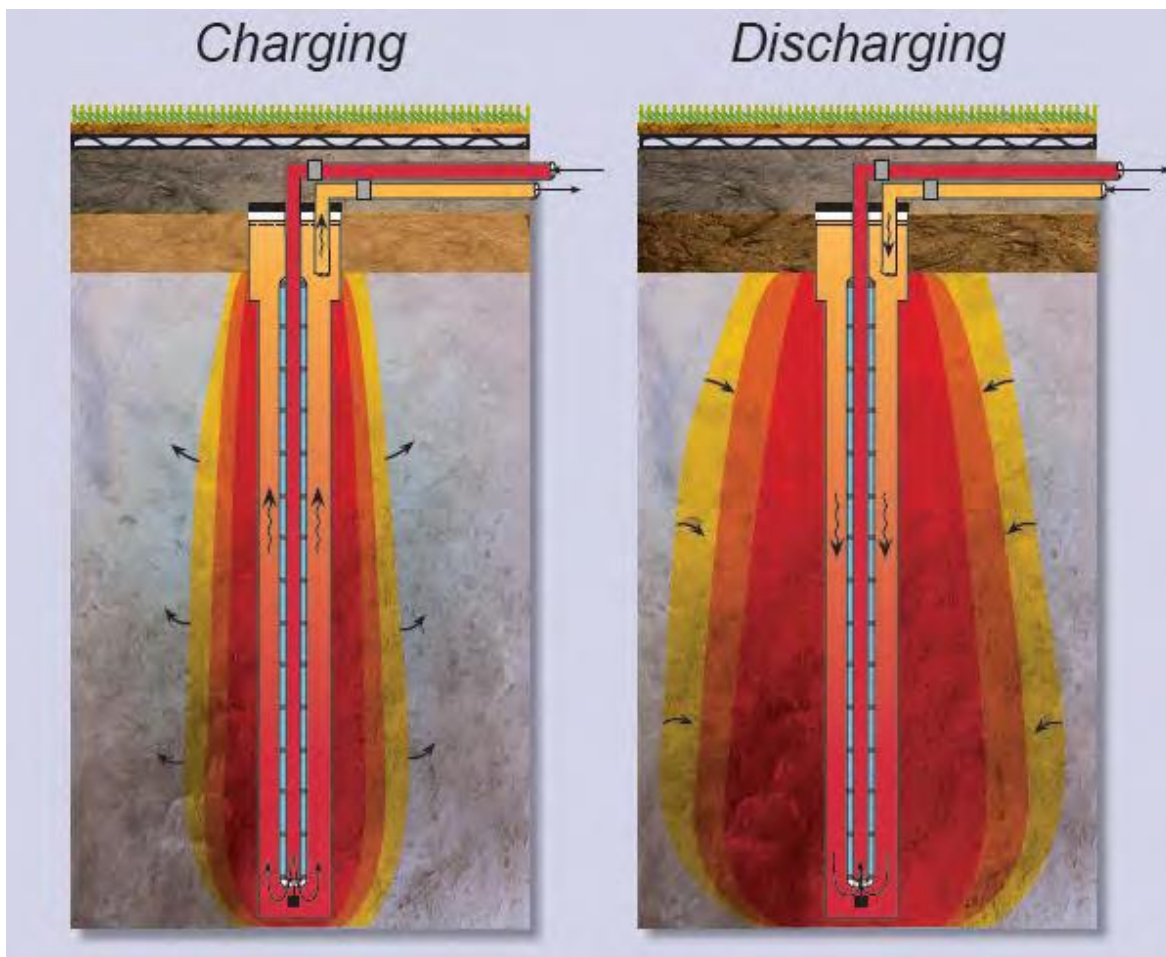
Kuvio 20. Arlandan lentokenttä, lämmityskäyttö (Underground Energy, [viitattu 9.4.2016]).

### 3.2.3 Porakaivovarasto (BTES)

Borehole Thermal Energy Storage, eli BTES- järjestelmä on yleisin energian varastointiratkaisu rakennuksissa, joissa on lämmitystä ja/tai jäähdytystä. Yleisin kohde on omakotitalo, jonka lämmitysmuotona on maalämpö. Siinä auringon säteilyn lämmittämästä maasta otetaan lämpöä ja muutetaan se lämpöpumpun avulla kiinteistön käyttöön sopivaksi. Porakaivoja voidaan käyttää myös viilennykseen,



jolloin ylimääräistä lämpöä siis ladataan maaperään. Toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin ATES-järjestelmässä: nyt lämpöä varastoidaan vain maaperään pohjaveden sijasta. Kuvio 21 on esitetty porakaivon ja sitä ympäröivän maaperän toiminta lämpöenergian lataus- ja purkuvaiheissa. (Nordell 2012, 5.)



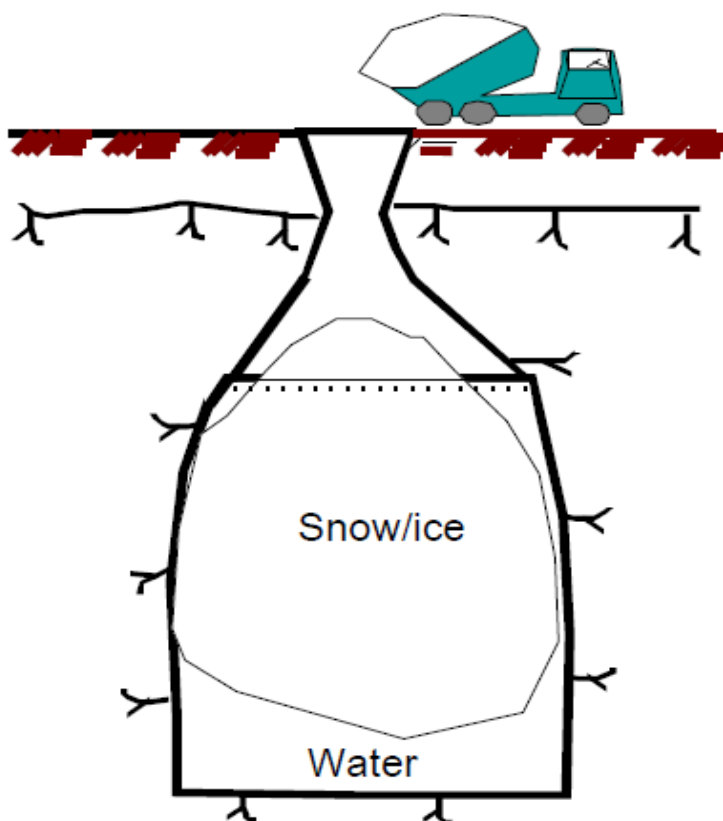
Kuvio 21. Lämpöenergian lataus ja purkaminen porakaivovarastossa (Hellström, [viitattu 20.3.2016], 17).

Suurissa kohteissa porakaivojen mitoituksen apuna käytetään TRT-mittausta (Thermal Response Test) eli termistä vastetestä. Mittauksella selvitetään, paljonko kallio pystyy vastaanottamaan lämpöenergiaa. Tulosten perusteella tulkitaan kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus, johon taas vaikuttavat kallioperän lämmönjohtavuus ja veden virtaus, ja energiakaivon lämpövastus. Kallioperän lämmönjohtavuudella on merkittävä vaikutus tarvittavien porakaivojen määrään ja syvyyteen.

(Nordell 2012, 6-7; Geologian tutkimuskeskus).

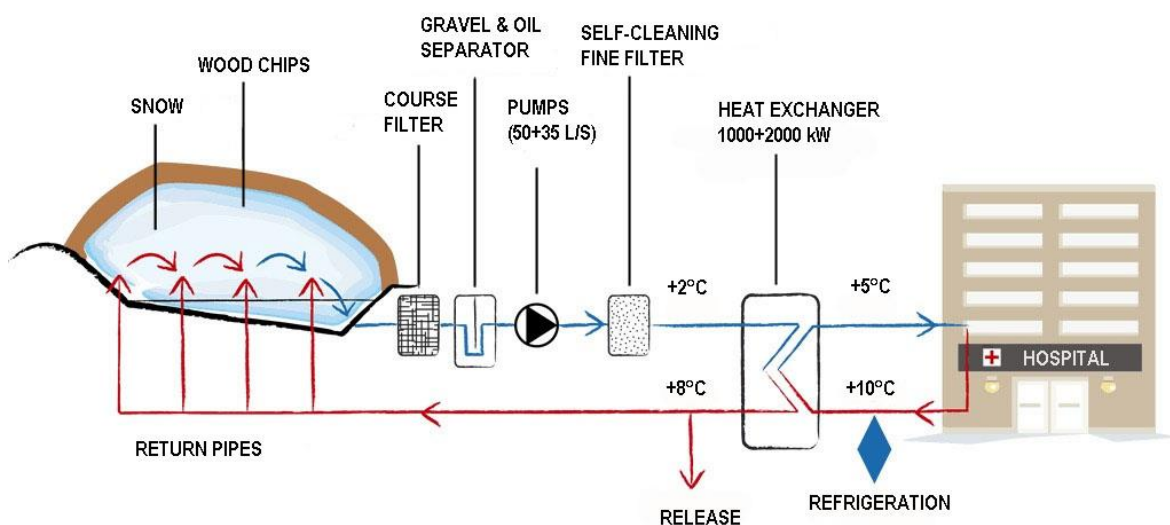
### 3.2.4 Lumen varastointi ja jäähdytys (SSS)

Seasonal Snow Storage (SSS), eli kausittaista lumen varastointia on käytetty jäähdytykseen jo kauan. Lunta käytetään muun muassa vihannesten ja hedelmien jäähdytykseen, ja tällä vuosituhannella lunta on alettu käyttämään jopa kokonais-ten liikekiinteistöjen jäähdytykseen. Esimerkiksi Ruotsin Sundsvallin aluesairaalan jäähdytyksessä käytetään lunta apuna. Lunta varastoidaan jopa 75 000 m<sup>3</sup>, ja sen jäähdytysteho maaliskuusta syyskuuhun on 3 GWh. Lunta kerätään suurille maa- kentille kasaksi, ja se peitetään hyvin eristävällä peitteellä. Tällaisten lumivarasto- jen ongelmana ovat suurien maa-alueiden aiheuttamat kustannukset. Vaihtoehto- iseksi lumivarastoksi onkin ehdotettu maanalaisia kallioluolia. Tällaiset luolat voi- taisiin sijoittaa kaupunkikeskuksiin, koska luolat eivät vie maanpäällistä alaa juuri- kaan. Myös lumen kuljetuskustannuksissa tulisi säästöjä lyhyen välimatkan ansi- osta. Kuvio 22 on esitetty edellä mainitun kaltainen luonnos kallioluolavarastosta, ja Kuvio 23 on Sundsvallin sairaalan lumijäähdytyksen periaatekuva. (Nordell 2012, 4.)



Kuvio 22. Maanalainen lumivarasto, periaatekuva (Nordell 2012, 5).





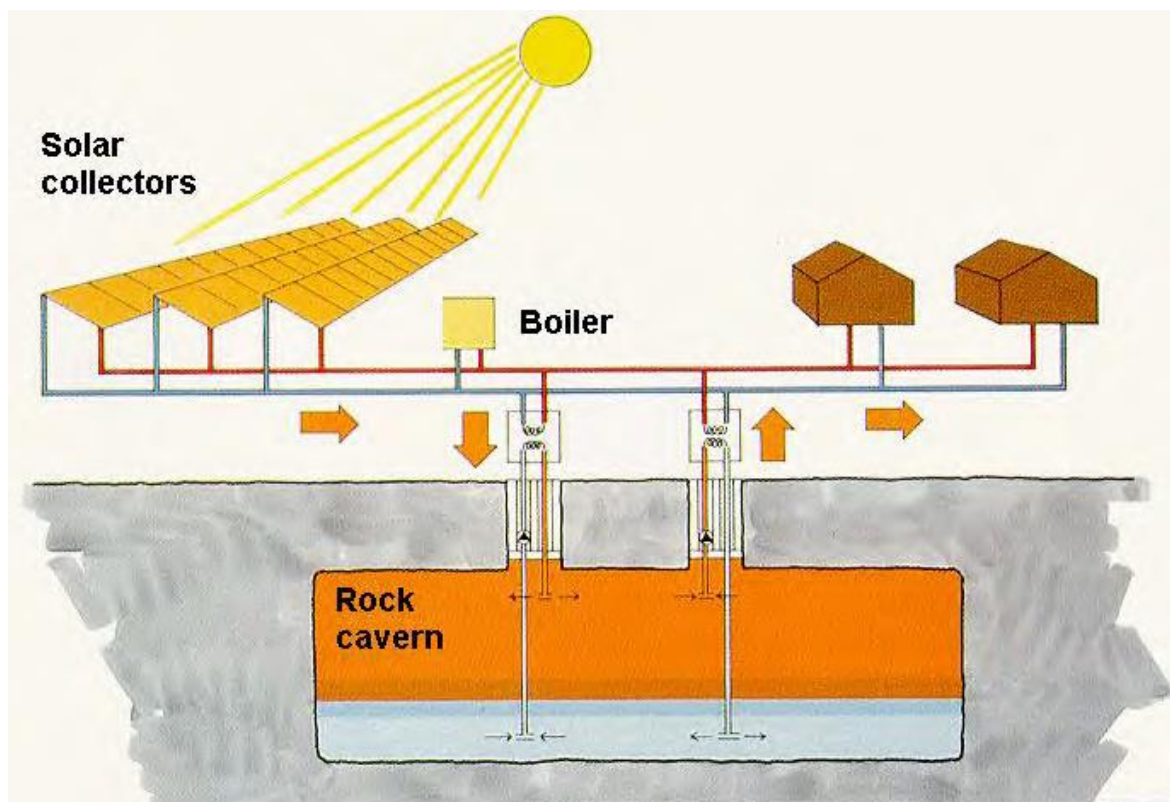
Kuvio 23 Sundsvallin aluesairaala, lumijäähdytys (Advantage Environment, [viitattu 20.3.2016]).

### 3.2.5 Kallioluolavarasto (CTES)

Rock Cavern Thermal Energy Storage (CTES), eli kallioluolastoon toteutettuja lämpöenergiavarastoja on vain muutamia maailmassa. Kaksi ensimmäistä CTES-järjestelmää rakennettiin Ruotsissa jo 1980-luvun alussa. Kuvio 24 on periaatekuva Ruotsin Lyckeboon rakennetusta kallioluolavarastosta. Sen tilavuus on 104 300 m<sup>3</sup>, lämmön varastointikapasiteetti 5,5 GWh ja varastointilämpötila 60-90 °C.

Suomen Oulussa muutettiin vanhoista Kemiran tehtaan teollisuusbenssiinin kalliovarastoista lämpöakku. Kahden rinnakkaisen kallioluolan tilavuus on yhteensä 190 000 m<sup>3</sup>. Lämpöakun kapasiteetti on 10 GWh, ja sitä voidaan ladata tai purkaa 80 MW teholla.

Kallioluolavarastojen haittapuolena ovat niiden suuret rakennuskustannukset, jolloin niiden takaisinmaksuaika pitenee merkittävästi verrattuna muihin lämpöenergian varastointitapoihin. Vanhojen kallioluolien ja kaivosten muuttaminen lämpöakkuiksi taas on varteenotettava vaihtoehto. (Nordell 2012, 3; Oulun Energia, [viitattu 18.3.2016].)



Kuvio 24 Lyckebon kallioluolavarasto Ruotsissa, periaatekuva (Hellström, [viitattu 20.3.2016], 24).

## 4 VAASAN KESKUSSAIRAALAN ALUEJÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Järjestelmän kuvaus

Vaasan keskussairaalassa on keskitetty aluejäähdytysjärjestelmä, jolla jäähdytetään lähes kaikki sairaala-alueen rakennukset. Jäähdytyksellä tarkoitetaan tässä tapauksessa rakennusten ilmastoinnin jäähdytystä sekä sairaalalaitteiden jäähdytystä. Keskitetyssä jäähdytysjärjestelmässä kaikkien rakennusten jäähdytys tapahtuu yhdessä paikassa, josta kylmää jaetaan rakennuksiin. Vaasan keskussairaalassa aluejäähdytyskeskus sijaitsee W-rakennuksessa (Kuvio 25). W-rakennuksessa sijaitsevat vedenjäähdytyskoneet sekä nestejäähdyttimet. Vedenjäähdytyskoneissa (3 kpl) käytetään kylmäaineena ammoniakkia. Ilmalauhdutteiset nestejäähdyttimet (5 kpl) on sijoitettu rakennuksen katolle, ja niissä kiertää vesityleeni-glykoli-seos. W-rakennuksesta lähtevä aluejäähdytysputkisto on liitetty jokaiseen rakennukseen. Aluejäähdytysputkissa kiertää vesi. Jokaisessa rakennuksessa on omat lämmönsiirtimensä, joissa aluejäähdytysputkia pitkin tuotu kylmä siirtyy rakennusten jäähdytyspiireihin. Rakennusten jäähdytyspiireissä kiertää niin ikään vesi.



Kuvio 25 Vaasan keskussairaalan aluekartta (Vaasan keskussairaala, [viitattu 1.4.2016]).

#### 4.1.1 Järjestelmän laajuus ja teho

Aluejäähdytysjärjestelmä kattaa sairaala-alueen rakennukset A, B, C, D, E, F, H, I, J, K, M, N, O, P, Q, R. U-rakennuksessa on rakennustyöt kirjoitushetkellä käynnissä, ja myös sen jäähdytysjärjestelmä tulee liittymään aluejäähdytysjärjestelmään. Kokonaisteholtaan aluejäähdytysjärjestelmän asennettu jäähdytysteho on tällä hetkellä 3750 kW, ja järjestelmässä on laajennusvaraa 1500 kW.

#### 4.1.2 Toimintaperiaate

W-rakennuksessa on kolme kappaletta taajuusmuuttajakäyttöisiä Blu Astrum –merkkisiä vedenjäähdytyskoneita, joissa kylmäaineena käytetään ammoniakkaa. Kylmäkoneiston pääkomponentteina ovat ruuvikompressori, märkähöyrystin ja nestelauhdutin. Vedenjäähdytyskoneista yksi on jäähdytysteholtaan 700 kW, ja se on varustettu vapaajäähdytystoiminnolla. Kaksi muuta ovat 1500 kW-tehoisia. Yh-

den nestejäähdyttimen lauhdutusteho on 933 kW, paitsi vapaajäähdytyksellä varustetussa koneessa 880 kW. Kuten edellä mainittiin, vedenjäähdytyskoneet jäähdyttävät alueputkistoissa kiertävää vettä, jota taas käytetään jäähdyttämään rakennusten jäähdytysjärjestelmissä kiertävää vettä. Kyseessä on siis välillinen lauhdutus, koska kylmäaine ei ole suoraan yhteydessä rakennusten jäähdytysjärjestelmään. Välillisen lauhdutuksen ansiosta tarvittava kylmäainetäytös pysyy pienempänä suoraan lauhdutukseen verrattuna.

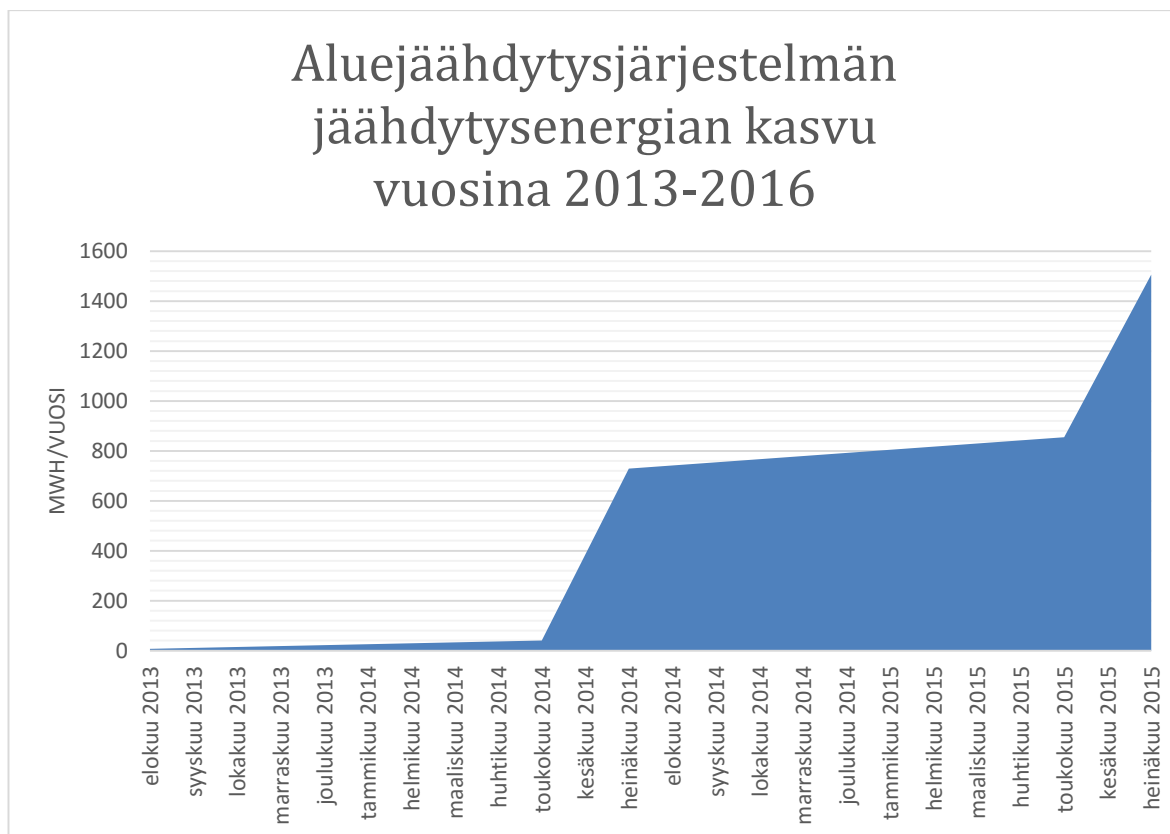
Vapaajäähdytys tarkoittaa yllämmön poistamista johonkin luonnolliseen lämpönieluun, kuten esimerkiksi maahan, vesistöön tai kylmään ulkoilmaan. Näistä yleisimmin käytetään kylmää ulkoilmaa. Vapaajäähdytystä voidaan yleensä hyödyntää ulkolämpötilan ollessa alle 0 °C. Liitteenä olevissa laskelmissa tarkasteltiin myös tilannetta, jossa vapaajäähdytystä hyödynnetään jo + 5 °C ulkolämpötilassa.

#### **4.1.3 Hyödynnettävissä olevan lauhdelämmön määrä**

Aluejäähdytysjärjestelmän asennettu maksimi jäähdytysteho on 3700 kW, ja kompressoreiden sähkötehot vastaavasti 940 kW. Lauhdutusteho koostuu jäähdytystehosta ja kompressorin sähkötehosta. Järjestelmän maksimi lauhdutusteho on yhteensä siis

$$3700 \text{ kW} + 940 \text{ kW} = 4640 \text{ kW}.$$

Hyödynnettävissä olevan lauhdelämmön määrä on riippuvainen vuodenajasta. Kesällä jäähdytystarpeen ollessa suurimmillaan, on lauhdelämpöäkin hyödynnettävissä eniten. Talvella jäähdytystarpeen pienentyessä myös lauhdelämmön määrä pienenee. Jäähdytystarpeet vaihtelevat myös rakennuksittain. Aluejäähdytysjärjestelmässä ei ole niin sanottua energian päämittausta W-rakennuksessa, mutta jokaisessa rakennuksessa on lämmönsiirtimen yhteydessä omat energiamittarinsa. Myös vedenjäähdytyskoneissa on omat käyttötuntimittarinsa. Aluejäähdytysjärjestelmää on otettu käyttöön vaiheittain vuoden 2013 elokuusta lähtien (Kuvio 26).



Kuvio 26 Vuotuisen jäähdytysenergian kasvu Vaasan keskussairaalassa.

Vedenjäähdytyskoneiden käyttötuntien, rakennusten energiamittarilukemien sekä Ilmatieteen laitoksen säädätin avulla kyettiin laskemaan suuntaa antava vuotuinen lauhdutusenergian määrä. Laskelmat on selvitetty liitteessä 1. Vuotuinen hyödynnettävissä oleva lauhdutusenergia on 1542 MWh/vuosi, mikäli vapaajäähdytystä hyödynnetään alle 0 °C ulkolämpötiloilla. Jos vapaajäähdytystä hyödynnetään jo alle +5 °C ulkolämpötilassa, vuotuinen lauhdutusenergia on 1008 MWh/vuosi. 1542 MWh vastaa noin 282 tonnia ja 1008 MWh noin 184 tonnia hiilidioksidipäästöjä, mikäli sama energia tuotettaisiin kaukolämmöllä. (Motiva 6.4.2016.)

## 5 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

### 5.1 Lauhdelämmön hyödyntämiskohteet kohteessa

Lauhdelämmön talteenotto on kannattavaa silloin, kun kohteessa esiintyy yhtä aikaa sekä jäähdytys- että lämmitystarvetta. Sairaaloissa tällainen tilanne useimmiten esiintyy. Esimerkiksi ATK-kaapit, teletilat ja lääkkeenjakohuoneet vaativat jäähdytystä ympäri vuoden.

Vaasan keskussairaalassa lauhdelämmön talteenotto on tehokkainta suorittaa aluejäähdytyskeskuksessa, jossa rakennusten jäähdytys tapahtuu keskitetysti, ja täten myös koko alueella syntyvä lauhdelämpö on kerättyä yhteen paikkaan. Aluejäähdytysputkistoissa kiertävän jäähdytysveden suunnittelulämpötilat ovat +6/+11 °C, ja nestejäähdyttimissä kiertävän vesi-etyleeniglykoli-seoksen suunnittelulämpötilat vastaavasti +36/+42 °C. Lämpötilatason kannalta järkevintä lämmön talteenotto on suorittaa lauhdutuspiiristä menoveden suunnittelulämpötilan ollessa +42 °C, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää sellaisenaan matalalämpöjärjestelmissä, kuten lattialämmityksessä tai ilmanvaihdon lämmityspatterissa. Myös käyttöveden esilämmityksessä voidaan hyödyntää lauhdeveden lämpöä. Mikäli lauhdelämpöä hyödynnettäisiin suoraan lämpimän käyttöveden valmistukseen, tulee lauhdeveden lämpötilaa nostaa esimerkiksi lämpöpumpun avulla korkeammaksi.

#### 5.1.1 Varastointi

Opinnäytetyön aikana pohdittiin lauhdelämmön varastointia jäähdytyskaudella maahan, ja lämmön hyödyntämistä myöhemmin lämmityskaudella.

Alueen maaperä on selvitysten perusteella niin rikkonaista, ettei lämmön varastointi ainakaan maaperään onnistu. Maaperän soveltumattomuus lämmön varastointiin sulkee heti porakaivo- sekä maanalaisen vesivarastojen käyttömahdollisuudet. Maanalaisen kallioluolaston rakentaminen taas pelkästään jäähdytyksen lauhdelämmön varastointia varten ei ole taloudellisesti kannattavaa. Maanpäällinen vesivarasto taas voisi olla varteenotettava vaihtoehto. Jäähdytyskaudella yli-

lämpöä voitaisiin varata vesimassaan. Lämmityskaudella lämmintä vettä käytettäisiin tilojen lämmitykseen joko suoraan tai lämmittämällä sitä lisää esimerkiksi kaukolämmöllä. Jälkimmäisessä tapauksessa lämmitykseen käytettävä vesi olisi jo esilämmitettyä.

Lämpimäksi käyttövedeksi varastoitu vesi ei sovellu suoraan, sillä legionella-bakteeri pystyy lisääntymään veden lämpötiloissa 20-45 °C.(THL, 3.3.2016). Lämpimän käyttöveden kulutus VKS:ssa on ympärivuotista, joten lämmön varastointi lämpimän käyttöveden valmistamiseksi ei kannata. Varastoinnin lämpöhäviöt heikentäisivät saatavaa hyötyä, kun vaihtoehtona on lauhdelämmön käyttö välittömästi lämpimän käyttöveden valmistukseen.

### **5.1.2 Rakennusten lämmitys**

Vaasan keskussairaalan alueelle tullaan lähiaikoina rakentamaan lisää. Esimerkiksi Hilma-rakennus tullaan toteuttamaan nykyisten H, I ja R – rakennusten tilalle. Hilma-rakennuksen pinta-ala tulee olemaan noin 30 000 m<sup>2</sup>. Lauhdutuspiiristä saatavaa lämpöä voitaisiin käyttää suoraan Hilma-rakennuksen lämmitysjärjestelmissä, kuten ilmanvaihdon esilämmityspattereissa ja lattialämmityksessä.

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä Vaasan keskussairaalan alueella on käynnissä F-osan saneerauksen suunnittelu. Alustavien suunnitelmien perusteella lauhdutuspiiristä saatavaa lämpöä voitaisiin käyttää myös siellä ilmanvaihdon esilämmityksessä. Sekä Hilma-rakennuksen että F-rakennuksen tapauksessa uudet putkistot voitaisiin viedä sairaala-alueen alla sijaitsevilla putkitunneleilla. Tällöin säästetään kaivuutöiden osuus kokonaan, joten investoitaviksi jäävät putkimateriaalit, lämmönsiirtimet ja pumppu sekä asennustyö.

W-rakennuksessa sijaitsevia varastoja ja traktoritalleja lämmitetään osittain aluejäähdytyksen lauhdelämmöllä. Lämpöpumpulla tuotetaan jäähdytysvesiverkoston 11-asteisesta paluuedestä +35-asteista vettä lämmitysverkostoon. Jäähdytysverkoston paluuvesi jäähtyy lämpöpumpussa 6-asteiseksi, ja se palautetaan verkoston menopotkeen.



Samanlaisella järjestelyllä voitaisiin toteuttaa periaatteessa mihin tahansa sairaala-alueen rakennukseen järjestelmä, joka jäähdytyksen lauhdelämpöä hyväksikäyttäen toimisi rakennuksen täydentävänä lämmitysjärjestelmänä. Aluejäähdytysjärjestelmän alueputkisto mahdollistaisi tällaisen joustavan lauhdelämmön hyödyntämisen. Käytännössä järjestelmä kannattaa toteuttaa rakennukseen, jossa sijaitsee myös lämmönsiirrin lämpimän käyttöveden valmistusta varten. Mikäli jäähdytys tuottaa paljon lauhdelämpöä, silloin rakennusta halutaan jäähdyttää, ja lämmitystarve on pieni. Suurin hyöty saadaan, jos lauhdelämpöä voitaisiin käyttää käyttöveden esilämmittämisessä, koska lämpimän käyttöveden kulutus on ympärivuotista.

### 5.1.3 Käyttöveden esilämmitys

W-rakennusta fyysisesti lähellä olevassa MNO-rakennuksessa sijaitsee kaksi käyttöveden lämmönsiirrintä, joilla valmistetaan lämmintä käyttövettä G-, H-, I-, MNO-, W- ja V- rakennuksiin. Käyttövettä esilämmitetään höyryntuotannosta tulevalla lauhtvedellä. Höyryä tuotetaan W-rakennuksen viereisessä pannuhuoneessa. +105-asteista lauhtvedellä lämmitetään +5-asteinen vesi +35-asteiseksi lämmönsiirtimessä, jonka jälkeen +75-asteiseksi jäähtynyt lauhtvesi palaa höyryntuotantolaitokseen. +35-asteinen vesi lämmitetään kaukolämmön avulla +60-asteiseksi. Kaukolämmöllä nostetaan esilämmitetyn veden lämpötilaa siis 25 asteella. Aluejäähdytyksen lauhdelämpöä voitaisiin käyttää myös käyttöveden esilämmityksen alkuvaiheessa nostamaan +5-asteisen veden lämpötila esimerkiksi +15-asteiseksi. Sen jälkeen höyryntuotannon lauhtvedellä nostettaisiin veden lämpötilaa 30 asteella. Lopuksi +45-asteinen vesi lämmitettäisiin kaukolämmöllä +60-asteiseksi. Kaukolämmöllä tehtävä lämmitys putoaisi 15 asteeseen, mikä tarkoittaa pienempää tarvittavaa kaukolämpötehoa.

Aluejäähdytysjärjestelmän lauhteen lämpötila on lauhtuspiirin menoputkessa +42 astetta mitoitusolosuhteissa. Vedenjäähdytyskoneelle lauhte palaa +36-asteisena. Lämpötilaero on 6 astetta ja piirin virtaama 41 l/s. Suuren massavirran takia käyttövettä kyetään lämmittämään enemmän kuin 6 asteen lämpötilaeron

verran, koska kaavan 6 mukaisesti massavirta vaikuttaa suoraan lämmönsiirtimen tehoon:

$$Q=m \times c \times dT \quad (6)$$

missä

$Q$ = lämmönsiirtoteho [kW]

$m$ = massavirta [kg/s]

$c$ =ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

$dT$ =lämmönsiirtonesteen jäähtymä lämmönsiirtimessä [K].

Kytkeä toteutettaisiin lämmönsiirtimillä siten, että lauhdutuspiiriin asennetaan oma lämmönsiirrin ja käyttövesiputkeen omansa. Lämmönsiirrinten välisessä verkostossa kiertäisi vesi. Lämmönsiirrinten häviöksi voidaan laskea 2 astetta kummallekin, eli nyt häviöitä on yhteensä 4 astetta. Liitteessä 2 esitettyjen laskelmien mukaan käyttöveden lämpötilaa voitaisiin nostaa +5 asteesta jopa +36 asteeseen tilanteessa, jossa lauhdutinpiirissä virtaa +42-asteista vettä 41 l/s virtaamalla. Jo 20 asteen esilämmitys on merkittävää, kun ottaa huomioon, että vettä edelleen esilämmitetään höyryntuotannon lauhdelämmöllä 30 astetta. Ideaaliolosuhteissa käyttövettä voitaisiin siis valmistaa täysin lauhdelämmöllä, eikä kaukolämpöä tarvittaisi lainkaan.

#### 5.1.4 Lauhdelämmön myynti

Yhtenä vaihtoehtona opinnäytetyössä tutkittiin myös lauhdelämmön myymistä joko energian toimittajalle takaisin tai kolmannelle osapuolelle. Paikallisen energiayhtiön ehdot lämmön ostamisesta ja saatavilla olevan lauhdelämmön ominaisuudet eivät kuitenkaan kohtaa. Esimerkiksi lämpötilataso on liian alhainen lämmön syöttämiseksi suoraan kaukolämpöverkostoon. Myös yllilämmön ostoa rajoitetaan, ja

esimerkiksi kesäaikaan Vaasan Sähkö ei osta lauhdelämpöä muualta kuin päätoimittajiltaan. (Pieskä 2016).

VKS:n viereisellä tontilla sijaitsee Vaasan uimahalli, jossa lauhdelämpöä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi allasveden, käyttöveden tai tilojen lämmityksessä. Uimahallin lämmitystarve ja sen kausiluonteisuus tulee selvittää erikseen Vaasan kaupungin talotoimelta.

Sijaintinsa puolesta putkiston rakentamiskustannukset W-rakennuksen ja uimahallin välillä pysyisivät maltillisina.

### **5.1.5 Toisarvoisten tilojen lämmitys**

Lauhdelämmöllä voidaan myös lämmittää niin sanottuja toisarvoisia tiloja, kuten varastoja ja ajoneuvosuojia. Näin tehdään jo W-rakennuksessa, kuten edellä kerrottiin. Esimerkiksi varastotilojen lämpötiloissa sallitaan suurempia vaihteluita kuin esimerkiksi teho-osastolla. Myös parkkitalon ajoneuvoluiskia voidaan lämmittää lauhdelämmöllä. Tässä ongelmaksi tosin muodostuu se, että siihen vuodenaikaan ja niissä lämpötiloissa, kun luiskia pitäisi pitää sulana, aluejäähdytysjärjestelmän vapaajäähdytystoiminto toimii tehokkaasti. Eli pakkaskelillä vedenjäähdytyskoneet ovat pysähdyksissä, ja jäähdytys hoidetaan vapaajäähdytyksellä. Tällöin lämmityksessä käytettävää lauhdelämpöä ei siis ole saatavilla.

## **5.2 Kohteeseen soveltuvat lämmön talteenottojärjestelmät**

Lauhdelämmön talteenottojärjestelmällä tarkoitetaan tässä yhteydessä koko järjestelmää, joka liittyy lauhdelämmön siirtämiseen, talteen ottamiseen, hyödyntämiseen tai varastointiin.

### **5.2.1 Lauhdelämmön hyödyntäminen lämmönsiirrinten avulla**

Lauhdelämpöä voidaan hyödyntää käsittelemättömänä esimerkiksi tuloilman tai käyttöveden esilämmityksessä. Tällöin lauhdutuspiiriin asennetaan lämmönsiirrin, jonka välityksellä lämpöä siirretään tarvittavaan toimintoon. Toinen lämmönsiirrin kytketään vastaavasti kylmävesijohtoon tai ilmanvaihdon lämmityspiiriin. Lauhdelämmön talteenotto tulee kuitenkin suorittaa niin, ettei se häiritse itse jäähdytysprosessia. Esimerkiksi lämmönsiirtimen painehäviöt lauhdutinpiirissä tulee laskea tarkasti, jotta jäähdytys toimii moitteettomasti.

### **5.2.2 Lauhdelämmön talteenotto lämpöpumpulla**

Lauhdelämmön lämpötilaa voidaan nostaa lämpöpumpulla sopivammaksi erilaisiin toimintoihin. Näin tehdään jo W-rakennuksessa, jossa lämpöpumpun avulla lämmitetään varasto- ja ajoneuvotiloja.

Lauhdutinpiiristä otettuna lämpöpumpun höyrystinpiiriin lämpötilat olisivat +42/+36. Mikäli lauhdelämpöä halutaan käyttää tilojen lämmitykseen, tulee lämpöpumpun nostaa lauhteen lämpötilaa vähintään 60 asteeseen, jotta sitä voitaisiin käyttää suoraan esimerkiksi patteriverkostossa. Patteriverkoston paluuvettä ajettaisiin lämpöpumpun kautta, jolloin 40-asteista paluuvettä lämmitetään lauhdelämmöllä niin paljon kuin lauhdetta on kulloinkin saatavilla. Loput lämmitettäisiin kaukolämmöllä. Kesäaikaan, kun jäähdytystarve on suuri, rakennuksen tiloja voitaisiin lämmitellä suurelta osin pelkällä lauhdelämmöllä.

### **5.3 Kannattavuuslaskelmat**

Lämmön talteenoton kannattavuus on aina tapauskohtaista, jossa täytyy huomioida lauhtumistehon vaihtelut ja verrata sitä lämmitystarpeisiin. Lauhdelämmön hyödyntäminen vähentää lauhduttimien kuormitusta ja säästää täten lauhduttimien puhaltimien ja pumppujen energiakustannuksissa. ( Aittomäki 2012, 208.)

Kannattavuuslaskelmat on suoritettu lämpöpumppuratkaisulle ja lämmönsiirratkaisulle tilanteissa, joissa lauhdelämpöä hyödynnetään käyttöveden esilämmityksessä tai tilojen lämmityksessä.

Laskelmissa on otettu huomioon laitteiston investointikustannukset, asennus- ja huoltokustannukset, järjestelmän putkistopituus eli lauhdelämpöä hyödyntävän rakennuksen etäisyys W-rakennuksesta ja vuotuinen energian säästö valitulla menetelmällä. Lisäksi on huomioitu lämmön talteenottolaitteiston aiheuttamat mahdolliset pumppauskustannukset.

Kustannuslaskelmien lähtötiedot on esitetty liitteessä 3, ja kustannuslaskelmat on suoritettu lämmönsiirratkaisulle liitteessä 4 ja lämpöpumppuratkaisulle liitteessä 5.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin Vaasan keskussairaalan aluejäähdytysjärjestelmän tuottaman lauhdelämmön hyödyntämistä. Vuotuinen hyödynnettävissä olevan lauhdeenergian määrä selvitettiin säädäntä ja energiamittarilukemien avulla.

Työssä käsiteltiin sekä lauhdelämmön talteenottomenetelmiä että lauhdelämmön hyödyntämismahdollisuuksia Vaasan keskussairaalassa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että lauhdelämpöä kannattaa ensisijaisesti hyödyntää omaan käyttöön. Lauhdelämmön hyödyntämismahdollisuuksia rajaa sen saatavuuden kausittaisuus. Suurin osa lauhdelämmöstä muodostuu kesäaikana, jolloin lämmitystarve on melko pieni. Suurin lämmöntarve taas on talvinaikana, jolloin lauhdelämpöä on vain hyvin vähän saatavilla. Suurin hyöty lauhdelämmöstä saadaan, kun sitä hyödynnetään sellaisissa prosesseissa, joita tarvitaan tasaisesti läpi vuoden. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden valmistus on tällainen prosessi, joten lauhdelämpöä voidaan hyödyntää siihen aina kun lauhdelämpöä on saatavilla. Tällöin lauhdelämmön hyödyntämistä on suurin mahdollinen. Tilojen lämmityksessä lauhdelämpöä jouduttaisiin suurella todennäköisyydellä varastoimaan myöhempää käyttöä varten. Varastoinnin rakentaminen lauhdevedelle tuo lisää investointikustannuksia ja pidentää investoinnin takaisinmaksuaikaa.

Kustannuslaskelmissa lauhdelämmön talteenoton taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin sekä lämmönsiirtimien että lämpöpumppujen avulla tilanteissa, joissa vedenjäähdytyskoneiden käynnistymislämpötilat olivat joko 0 °C tai +5 °C. Liitteiden 4 ja 5 kannattavuuslaskelmissa todettiin, että lämmönsiirtimillä on lyhyempi takaisinmaksuaika sekä käyttöveden esilämmityksessä että tilojen lämmityksessä. Molemmissa tapauksissa lämmönsiirtimelle saapuvan lauhdutusveden lämpötilalla on suuri vaikutus saatavaan hyötyyn.

Hyvän hyötysuhteen lämpöpumpuilla saadaan hyödynnettyä tehokkaasti jo pienetkin lauhdelämpömäärät, ja matalillakin lauhdutusveden lämpötiloilla saadaan tuotettua lämpöä hyödynnettäväksi eri prosesseissa. Kuten edellä on jo mainittu, kesäaikana lauhdelämmön hyödyntäminen tilojen lämmitykseen on haastavaa, mikäli lauhdelämpöä aiotaan hyödyntää vain yhdessä rakennuksessa. Mutta jos lauhde-

lämpöä jaetaan kesäaikana usean rakennuksen kesken, voidaan lauhdelämpöä hyödyntää tehokkaammin myös kesäaikana. Käyttöveden lämmityksessä yksikään lämpöpumppu ei maksanut itseään takaisin, ja tilojen lämmitykseen soveltui 2 lämpöpumppua 3 vaihtoehdosta, mikäli vedenjäähdytyskoneiden käynnistymislämpötila oli 0 °C.

Sekä lämmönsiirrin- että lämpöpumppuratkaisussa selvästi kannattavamaksi vaihtoehdoksi nousi lauhdelämmön talteenotto lauhdutuspiiristä. Aluejäähdytysjärjestelmän jäähdytysvesipiiristä, jossa veden lämpötilat ovat +6/+11 °C, lauhdelämmön talteenotto on käytännössä tehtävä lämpöpumpulla, ja silloinkin kannattavuus jää heikoksi. Tässä opinnäytetyössä katson, että aluejäähdytysjärjestelmän lauhdelämpöä on taloudellisesti järkevintä hyödyntää käyttöveden esilämmityksessä.

## LÄHTEET

- Advantage Environment. 9/2009. Stored Snow for Summer Cooling. [Verkkosivu]. Stockholm: Confederation of Swedish Enterprise. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavana: <http://advantage-environment.com/buildings/stored-snow-for-summer-cooling/>
- Ahlsell. Ei päiväystä. Kylmäluettelo 2015. [Verkkojulkaisu]. Hyvinkää: Ahlsell Oy. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana: <http://np.netpublicator.com/netpublication/n58954727>
- Aittomäki, A. (toim.) 2012. Kylmäteknikka. 4. painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys.
- Alanen, R., Hukari, S., Koljonen, T., Saari, P., 2003. Energian varastoinnin nykytila. [Verkkojulkaisu]. Espoo: VTT Tietopalvelu. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>
- Alfa Laval. Ei päiväystä. Toiminta. [Verkkosivu]. Espoo: Alfa Laval Nordic Oy. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana: <http://www.alfalaval.fi/products/heat-transfer/tubular-heat-exchangers/Shell-and-tube-condenser/CRF/>
- Carbontrust. Ei päiväystä. Heat recovery. [Verkkosivu]. Lontoo: The Carbon Trust. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavana: <http://www.carbontrust.com/resources/guides/energy-efficiency/heat-recovery>
- Danfoss. Ei päiväystä. Termostaattiset paisuntaventtiilit. [Verkkojulkaisu]. Espoo: Oy Danfoss Ab. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/AE3F028B-EE1C-4968-83B6-B93254B24BAE/0/Termostaattisetpaisuntaventtiilit.pdf>
- DN Tanks. Ei päiväystä. How TES Works. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavana: <http://www.dntanks.com/what-we-do/thermal-energy-storage/how-tes-works/>
- Fortum. 24.3.2015 Fortum rakentaa kaukolämpöakun Espoon Suomenojalle. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavana: <https://www.fortum.fi/fi/media/pages/fortum-rakentaa-kaukolampoakun-espoon-suomenojalle.aspx>
- Geologian tutkimuskeskus. Ei päiväystä. Terminen vastetestti eli TRT-mittaus (Thermal Response Test). [Verkkojulkaisu]. Espoo: GTK. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavana: <http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/energia/trtmittaus.html>



- Global Spec. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. New York: IHS Engineering 360. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana:  
<http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20123/Image1578668378138141b5bb088e9b5da271af.gif>
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. 1.painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Hellström, G. Ei päiväystä. UTES Experiences from Sweden. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 20.3.2016]. Saatavana:  
[http://www.icax.co.uk/pdf/REHAU\\_Hellstrom\\_UTES.pdf](http://www.icax.co.uk/pdf/REHAU_Hellstrom_UTES.pdf)
- Hirvelä, A., Jokela, M., Kaappola, E., Kianta, J. 2011. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- KMS-Science. Ei päiväystä. Convection. [Verkkosivu]. San Francisco: Tangient LLC. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavana:  
<https://kms-science.wikispaces.com/Convection>
- Motiva. Päivitetty 6.4.2016. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 6.4.2016]. Saatavana:  
[http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiansaasto-suomessa/co2-laskentaohje\\_energiansaastokertoimien\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiansaasto-suomessa/co2-laskentaohje_energiansaastokertoimien_laskentaan/co2-paastokertoimet)
- Motiva. Päivitetty 4.4.2016. Palvelusektorin ominaiskulutuksia: Lämpö. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 6.4.2016]. Saatavana:  
[http://www.motiva.fi/files/10852/Ominaiskulutus\\_Lampo.pdf](http://www.motiva.fi/files/10852/Ominaiskulutus_Lampo.pdf)
- Nibley. Päivitetty 8.10.2015. APV Heat Exchangers. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.4.2016]. Saatavana:  
<http://www.nibleyco.com/apv-heat-exchangers/>
- NTL World. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana:  
[http://homepage.ntlworld.com/michelle.richards793/aircon/images/014\\_compressorSandenScroll015.jpg](http://homepage.ntlworld.com/michelle.richards793/aircon/images/014_compressorSandenScroll015.jpg)
- Nordell, B. 2012. Underground Thermal Energy Storage (UTES). [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.3.2016]. Saatavana:  
[https://pure.ltu.se/portal/files/41770693/UTES\\_Nordell.pdf](https://pure.ltu.se/portal/files/41770693/UTES_Nordell.pdf)
- Nydal, R. 2002. Käytännön kylmäteknikka. Suomentaja Markku Muuronen. 3.painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys.
- Oulun Energia. Ei päiväystä. Huippu- ja varateho. [Verkkojulkaisu]. Oulu: Oulun Energia Oy. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavana:  
<https://www.ouluenergia.fi/huippu-ja-varateho>

Pieskä, M. 19.4.2016. VKS lauhdelämmön myynti. [Henkilökohtainen sähköposti-  
viesti]. Vastaanottaja: Alekski Kivisaari. [Viitattu 20.4.2016].

Rautala, J. 2010. Tuloilman jäähdyttämisestä lämpöpumpulla saatavan energian  
siirtäminen käyttöveden lämmitykseen. Satakunnan ammattikorkeakoulu.  
Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 4.2.2016].

Saatavana:

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24822/Rautala\\_Jaakko.pdf;jsessionid=CF797032E34F198E482350660C0914C5?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24822/Rautala_Jaakko.pdf;jsessionid=CF797032E34F198E482350660C0914C5?sequence=1)

Ref-Wiki. Ei päiväystä. Water-Cooled Condensers. [Verkkosivusto]. [Viitattu  
3.2.2016]. Saatavana: [http://www.ref-  
wiki.com/img\\_article/x227e.jpg.pagespeed.ic.j3CwGGSjWw.jpg](http://www.ref-wiki.com/img_article/x227e.jpg.pagespeed.ic.j3CwGGSjWw.jpg)

Teca. Ei päiväystä. Nirvana 37-160 kW. [Verkkosivu]. Vantaa: Teca Oy. [Viitattu  
3.2.2016]. Saatavana:

[http://www.teca.fi/tuotteet/paineilma-  
pneumatiikka/paineilmakompressorit/ruuvikompressorit/oljyttomat-  
ruuvikompressorit/1423/nirvana-37-160-kw](http://www.teca.fi/tuotteet/paineilma-pneumatiikka/paineilmakompressorit/ruuvikompressorit/oljyttomat-ruuvikompressorit/1423/nirvana-37-160-kw)

THL. 3.3.2016. Legionella, ympäristötekijät ja torjuntamahdollisuudet. [Verkkosi-  
vu]. Helsinki: Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavana:  
[https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-  
vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet](https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet)

Underground Energy. Ei päiväystä. ATES- Aquifer Thermal Energy Storage.  
[Verkkosivusto]. Lancaster: Underground Energy LLC. [Viitattu 7.4.2016].

Saatavana:

<http://www.underground-energy.com/ATES.html>

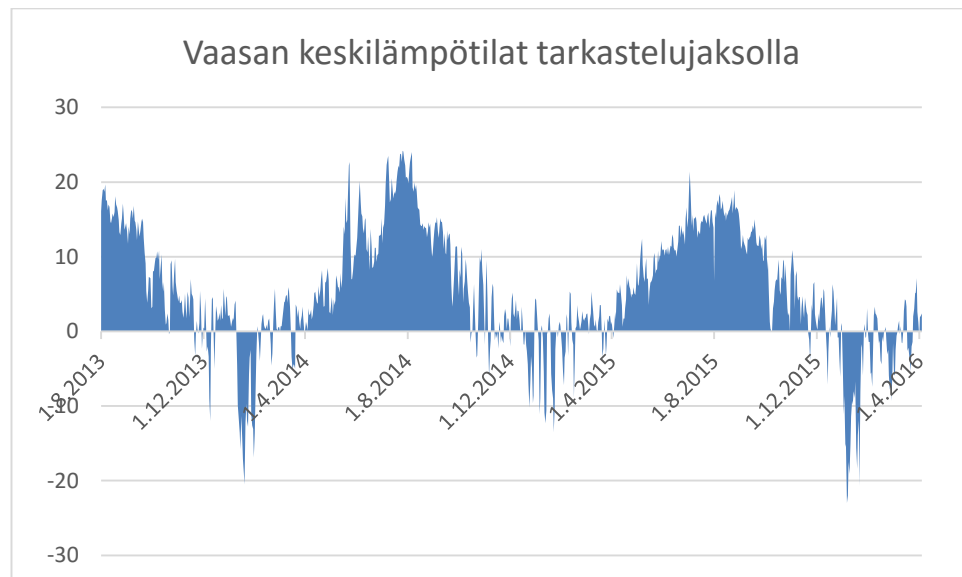
Vaasan keskussairaala. Ei päiväystä. Hietalahti kartta. [Verkojulkaisu]. Vaasa:  
Vaasan keskussairaala. [Viitattu 1.4.2016]. Saatavana:

[https://www.vaasankeskussairaala.fi/globalassets/kartat/hietalahdi\\_kartta\\_suo  
mi.jpg](https://www.vaasankeskussairaala.fi/globalassets/kartat/hietalahdi_kartta_suomi.jpg)

## LIITTEET

## Liite 1 Vuotuinen hyödynnettävissä olevan lauhde-energian määrä

Vaasan säädata on haettu Ilmatieteen laitoksen avoin data-osioista.



Kuvio 1 Vaasan keskilämpötilat aikavälillä 1.8.2013-4.4.2016.

Laskelmissa tarkasteltiin jäähdytyslaitteiston toimintaa kahdessa eri tilanteessa, jolloin vapaajäähdytys vaihtuu koneelliseen jäähdytykseen.

### Oletukset laitteiston toiminnasta:

- jos ulkolämpötila on alle 0 tai 5 °C, jäähdytys hoidetaan vapaajäähdytyksellä
- jos ulkolämpötila on yli 0 tai 5 °C, jäähdytys hoidetaan vedenjäähdytyskoneilla.

Tarkastelujakso 1.8.2013–4.4.2016. Tarkastelujakson aikana yhteensä 978 päivää. Aluejäähdytyslaitteisto on otettu käyttöön elokuussa 2013.



Kuvio 2 Vaasan ulkoilman lämpötilajakauma aikavälillä 1.8.2013-4.4.2016.

**Tarkastelujaksolla on yhteensä:**

- 622 päivää, jolloin lämpötila yli 0 °C astetta  
=14928h
- 384 päivää, jolloin lämpötila yli +5 °C astetta  
=8352h
- 234 päivää, jolloin päivän lämpötila on sekä yli että alle 0 °C  
=2808h
- 252 päivää, jolloin päivän lämpötila on sekä yli että alle 5 °C  
=3024
- 122 päivää, jolloin lämpötila alle 0 °C  
=2928h
- 378 päivää, jolloin lämpötila alle 5 °C  
=9072h

**Seuraavaksi tarkastellaan vedenjäähdytyskoneiden laskennallisia käyttöaikoja säädatan perusteella kummassakin tapauksessa.**

Mikäli koneellisen jäähdytyksen käynnistymislämpötila on 0 °C, edellisten tietojen mukaan vedenjäähdytyskoneet ovat käyneet tarkastelujakson aikana yhteensä

$$14928\text{h}+2808\text{h}= 17736\text{h}.$$

Vapaa jäähdytyksellä on jäähdytetty yhteensä

$$2928\text{h}+2808\text{h}= 5736\text{h tarkastelujakson aikana}.$$

Mikäli koneellisen jäähdytyksen käynnistymislämpötila on +5 °C, edellisten tietojen mukaan vedenjäähdytyskoneet ovat käyneet tarkastelujakson aikana yhteensä

$$8352\text{h}+3024\text{h}= 11376\text{h}.$$

Vapaa jäähdytyksellä on jäähdytetty yhteensä

$$9072\text{h}+2808\text{h}= 11880\text{h tarkastelujakson aikana}.$$

**Vuotuisen keskiarvon laskenta:**

tarkastelujakson pituus/vuodessa olevien päivien määrä

$$978/365= 2,679.$$

Vedenjäähdytyskoneet ovat vuodessa päällä keskimäärin

$$17736\text{h}/2,679= 6619,3\text{h, mikäli käynnistymislämpötila on 0 °C}.$$

+5 °C asteen käynnistymislämpötilalla vedenjäähdytyskoneet ovat vuodessa päällä keskimäärin

$$11376\text{h}/2,679= 4246,4 \text{ h.}$$

Vedenjäähdytyskoneet ovat pois päältä vapaajäähdytyksen aikana, vuodessa keskimäärin

$$5736\text{h}/2,679= 2140,74\text{h, mikäli käynnistymislämpötila on } 0 \text{ °C.}$$

+5 °C asteen käynnistymislämpötilalla vedenjäähdytyskoneet ovat vuodessa pois päältä keskimäärin

$$11376\text{h}/2,679= 4434,5 \text{ h.}$$

#### 4.4.2016 Käyty lukemassa VKS:n vedenjäähdytyskoneiden käyttötuntimittarit.

Kone	Jäähdytysteho [kW]	Sähköteho [kW]	Käyttötunnit yhteensä tarkastelujaksolla [h]	Käyttötunnit, vuotuinen keskiarvo [h]
VJK1	700	180	4164	1554
VJK2	1500	380	3859	1440
VJK3	1500	380	3988	1488

Mikäli vedenjäähdytyskoneet olisivat jäähdyttäneet aina täydellä teholla päällä ollessaan,

$$\text{VJK1 vuotuinen jäähdytysenergia olisi } 700\text{kW} \cdot 1554\text{h} = 1087,8 \text{ MWh}$$

$$\text{VJK2 vuotuinen jäähdytysenergia olisi } 1500\text{kW} \cdot 1440\text{h} = 2160 \text{ MWh}$$

$$\text{VJK3 vuotuinen jäähdytysenergia olisi } 1500\text{kW} \cdot 1488\text{h} = 2232 \text{ MWh}$$

Yhteensä vuotuinen jäähdytysenergia olisi siis edelliset yhteenlaskettuna

$$1087,8 \text{ MWh} + 2160 \text{ MWh} + 2232 \text{ MWh} = 5479,8 \text{ MWh}.$$

Rakennusten energiamittarit käytiin lukemassa valvomosta 4.4.2016. Kokonaisenergiamäärät muutettiin vuotuisiksi lukemiksi henkilökunnan antamien tietojen perusteella, joista kävi ilmi muun muassa kunkin rakennuksen jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoajankohta noin kuukauden tarkkuudella.

Todellinen vuotuinen jäähdytysenergian kulutus rakennuksissa on 1627,2 MWh.

Todellisen kulutuksen ja vedenjäähdytyskoneiden käyttötuntien perusteella lasketujen energiamäärien suhde on

$$1627,2 \text{ MWh} / 5479,8 \text{ MWh} = 0,297$$

Vedenjäähdytyskoneiden kompressoreiden ottama vuotuinen sähköenergian kulutus yhteensä on edellisten laskukaavojen mukaisesti 1392,4 MWh.

Todellinen sähköenergian kulutus saadaan kertomalla vuotuinen kulutus todellisen kulutuksen suhdeluvulla 0,297

$$1392,4 \text{ MWh} * 0,297 = 413,53 \text{ MWh}.$$

Lauhdutusteho muodostuu jäähdytystehosta ja kompressoreiden sähkötehosta. Vastaavasti lauhdutusenergia muodostuu jäähdytysenergiasta ja kompressoreiden sähköenergian kulutuksesta.

Vuotuinen lauhdutusenergia on keskimäärin siis

$$1627,2 \text{ MWh} + 413,53 \text{ MWh} = 2040,73 \text{ MWh}$$

Vapaajäähdytyskäytössä vedenjäähdytyskoneet eivät käy, mutta rakennuksia voidaan jäähdyttää ulkoilmaa hyväksikäyttäen. Tällöin myöskään lauhdutusenergiaa ei käytännössä saada. Rakennusten jäähdytysenergian kulutuslukema ei siis ota huomioon vapaajäähdytyksen osuutta. Se täytyy vähentää vuotuisesta lauhdutusenergian määrästä.

- Koneellisen jäähdytyksen käynnistymislämpötilan ollessa 0 °C,



on vapaajäähdytyskäyttöä vuodessa keskimäärin 2140,74h. Vuodessa on tunteja 365 päivää x 24h= 8760h.

Vapaajäähdytyksen osuus vuodesta

$$2140,74h/8760h= 0,244.$$

Vapaajäähdytyksen osuus vuotuisesta lauhdutusenergiasta

$$0,244*2040,73 \text{ MWh}= 497,94 \text{ MWh}$$

**Vuotuinen käytettävissä oleva lauhdutusenergia on siis**

$$2040,73 \text{ MWh}-497,94 \text{ MWh}= 1542,8 \text{ MWh, pyöristettynä } 1540 \text{ MWh.}$$

- Koneellisen jäähdytyksen käynnistymislämpötilan ollessa +5 °C,

on vapaajäähdytyskäyttöä vuodessa keskimäärin 4434,5h. Vuodessa on tunteja 365 päivää x 24h= 8760h.

Vapaajäähdytyksen osuus vuodesta

$$4434,5h/8760h= 0,506.$$

Vapaajäähdytyksen osuus vuotuisesta lauhdutusenergiasta

$$0,506*2040,73 \text{ MWh}= 1032,61 \text{ MWh}$$

**Vuotuinen käytettävissä oleva lauhdutusenergia on siis**

$$2040,73 \text{ MWh}-1032,61 \text{ MWh}= 1008,12 \text{ MWh, pyöristettynä } 1008 \text{ MWh.}$$

## Liite 2 Hilma-rakennuksen alustava lämmitystehon tarve

Rakennuksen alustava pinta-ala

30 000 m<sup>2</sup>

Alustava tilavuus, kun huonekorkeus 3 m

90 000 m<sup>3</sup>

Terveyskeskuksen lämpöenergian vuotuinen ominaiskulutus,  
mediaani 53,2 kWh/r-m<sup>3</sup>

Lähde: Motiva, 4.4.2016, Palvelusektorin ominaiskulutuksia.

Hilma-rakennuksen alustava lämpöenergian ominaiskulutus vuodessa  
4788 MWh, mikä vastaa noin 876 tonnia CO<sub>2</sub> – päästöjä vuodessa.

Motiva, 4.4.2016, CO<sub>2</sub>-päästökertoimet.

Alustava hyödynnettävissä oleva lauhde-energian määrä vuodessa

1542 MWh/1008 MWh

Mikäli lauhde-energia voitaisiin hyödyntää täysimääräisesti Hilma-rakennuksen lämmitykseen, olisi lauhdelämmön osuus lämmitysenergiasta

$1542 \text{ MWh} / 4788 \text{ MWh} = 0,322$  eli noin 32 %.

$1008 \text{ MWh} / 4788 \text{ MWh} = 0,2105$  eli noin 21 %.

Terveystenhoito-sektorin rakennusten lämpimän käyttöveden vuotuisen kulutuksen oletusarvo,

0,52 m<sup>3</sup>/brm<sup>2</sup>

Hilma-rakennuksen alustava lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa, arvoitu olevan 40 % vedenkulutuksesta

5360 m<sup>3</sup>.

Vesimäärän lämmittämiseen kuluva energia vuodessa

3129 MWh, mikä vastaa noin 570 tonnia CO<sub>2</sub> – päästöjä vuodessa.

Mikäli lauhde-energia voitaisiin hyödyntää täysimääräisesti Hilma-rakennuksen käyttöveden lämmitykseen, olisi lauhdelämmön osuus lämmitysenergiasta

$1542 \text{ MWh} / 3129 \text{ MWh} = 0,493$  eli noin 49 %.

$1008 \text{ MWh} / 3129 \text{ MWh} = 0,322$  eli noin 32 %.

Lähde: Motiva, 4.4.2016, Palvelusektorin ominaiskulutuksia; Motiva, 4.4.2016, CO<sub>2</sub>-päästökertoimet.

### **F-rakennuksen alustava ilmanvaihdon lämmitystehon tarve**

Talvitilanteessa ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden tehot yhteensä  
400 kW=0,4 MW

Mikäli lämmityspatterit lämmittäisivät läpi vuoden täydellä teholla

$0,4 \text{ MW} * (365 * 24 \text{ h}) = 3504 \text{ MWh}$

Arvioidaan lämmityspattereiden vuotuinen tehontarve 1/3 täydestä tehosta.

Tällöin F-rakennuksen vuotuiseksi ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeeksi saadaan  
 $3504 \text{ MWh} / 3 = 1168 \text{ MWh}$

Teoriassa lauhde-energialla voitaisiin kattaa F-rakennuksen ilmanvaihdon lämmitystarve seuraavasti:

Jos vedenjäähdytyskoneiden käynnistymislämpötila on

- 0 °C,  $1542 \text{ MWh} / 1168 \text{ MWh} = 1,32$  eli rakennuksen tuloilman lämmitys voitaisiin hoitaa täysin lauhdelämmöllä, mikäli lauhdetta voitaisiin käyttää tarpeen mukaan ympäri vuoden.

- $5\text{ °C}$ ,  $1008\text{ MWh}/1168\text{ MWh} = 0,863$  eli rakennuksen tuloilman lämmitys voitaisiin hoitaa noin 86-prosenttisesti lauhdelämmöllä.

(F-rakennuksen ilmanvaihdon lämmitystehon tarve perustuu vain alustaviin suunnitelmiin.)

F-rakennukseen on alustavasti suunniteltu Fläkt Woods Oy:n valmistamia Econet-ilmanvaihtokoneita, joissa on nestekiertoinen lämmön talteenotto. Econet-järjestelmän mahdollistaa myös matalan lämpötilan lisäenergian käytön tuloilman lämmityksessä.

Kun lauhdelämpöä otettaisiin talteen lauhdutuspiiristä, jossa lauhduttimelle palaa-  
van veden mitoituslämpötila on  $+42\text{ °C}$ , voitaisiin lauhdelämpöä käyttää suoraan Econet-järjestelmän kautta tuloilman lämmitykseen. Yleensä ilmanvaihdon lämmitys mitoitetaan  $+60\text{ °C}$  menolämpötilalle, mikä tarkoittaa, että jos tuloilman lämpötila halutaan pitää samalla tasolla myös lauhdelämpöä hyödynnettäessä, tulee eteen seuraavia tilanteita:

- Econet-yksikön ensiöpuolen virtaamaa on kasvatettava tai
- Econet-pattereiden lämmönsiirtopinta-alaa on kasvatettava

Ensimmäinen vaihtoehto aiheuttaa lisää pumppauskustannuksia, koska pumppu joutuu tekemään enemmän työtä. Samalla painehäviöt verkostossa kasvavat.

Toisessa vaihtoehdossa ilmanvaihtokoneen fyysinen koko kasvaa pattereiden suurentuneen koon verran. Käytännössä pattereista tulee siis entistä syvempiä. Lisäksi suuremmat patterit aiheuttavat suuremman painehäviön puhaltimille, jolloin puhaltimien sähkönkulutus kasvaa.

Edellä mainitut seikat on syytä huomioida, mikäli lauhdelämpöä aiotaan käyttää suoraan tuloilman lämmitykseen muuallakin kuin F-rakennuksessa.

**Ongelmat lauhdelämmön hyödyntämisessä tilojen lämmitykseen.**

- lauhdelämpöä saatavilla pääsääntöisesti kesällä, eli jäähdytyskaudella
  - tällöin lämmitystarve pieni
- talvella eli lämmityskaudella lauhde-energiaa on niukasti saatavilla
- lauhdelämmön hyödyntäminen tilojen lämmityksessä vaatii todennäköisesti lauhdelämmön varastointiratkaisua.

### Liite 3 Kustannuslaskelmien lähtötiedot

Liitteen 1 laskelmien mukaisesti lauhdelämpöä on vuosittain saatavilla joko noin 6619 h tai 4246 h, riippuen vedenjäähdytyskoneiden käynnistymislämpötilasta. Kustannuslaskelmissa tarkastellaan molempia tilanteita erikseen.

Laskelmissa oletetaan, että vuotuinen lämmitysenergian tarve vastaa sitä energiamäärää, mikä kuluu kun koneet käyvät täydellä teholla 3 kuukautta tauotta. (3kk/12kk=  $\frac{1}{4}$ ).

Lasketaan tämän oletuksen perusteella vuoden teholliset tunnit:

- 0°C:  $6619\text{h}/4= 1655 \text{ h}$ .
- +5 °C:  $4246\text{h}/4= 1062 \text{ h}$ .

Laskelmissa esiintyy seuraavia energiantarvelukuja.

Käyttöveden esilämmitys:

- 319kW on kaukolämmöllä tuotava energiamäärä käyttöveden lämmitysprosessiin sen jälkeen, kun käyttövettä on höyrylaitoksen lauhteella esilämmitetty 35-asteiseksi.
- 650 kW on kaukolämmöllä tuotava energiamäärä käyttöveden lämmitysprosessiin, mikäli käyttövesi lämmitettäisiin lähes kokonaan kaukolämmöllä.

Tilojen lämmitys:

- 1542 MWh on laskennallinen lauhdelämpömäärä vuodessa, kun VJK:n käynnistymislämpötila on 0 °C.
- 1008 MWh on laskennallinen lauhdelämpömäärä vuodessa, kun VJK:n käynnistymislämpötila on +5 °C.

Kustannuslaskelmissa kaikki hinnat ovat alv 0 %. Laskelmissa ei ole huomioitu korkoja.

<b>Lämpöpumppu 1</b>	<b>P-300 2 x VFD + Subcooler</b>
<b>Jäähdytysteho kW</b>	<b>792</b>
<b>Sähköteho kW</b>	<b>179</b>
<b>COP</b>	<b>5.41</b>
<b>Lämmitysteho kW</b>	<b>969</b>
<b>Lämmitysteho kW, min</b>	<b>110</b>
<b>Alustava hinta-arvio</b>	<b>85 300.00 €</b>
<b>Mitoituslämpötilat</b>	<b>36/42, 55/60</b>
<b>Asennuspaikka</b>	<b>W-rakennus, lauhdutuspiiri</b>

<b>Lämpöpumppu 2</b>	<b>S380-1</b>
<b>Jäähdytysteho kW</b>	<b>844</b>
<b>Sähköteho kW</b>	<b>204</b>
<b>COP</b>	<b>5.11</b>
<b>Lämmitysteho kW</b>	<b>1044</b>
<b>Lämmitysteho kW, min</b>	<b>400</b>
<b>Alustava hinta-arvio</b>	<b>72 200.00 €</b>
<b>Mitoituslämpötilat</b>	<b>36/42, 55/60</b>
<b>Asennuspaikka</b>	<b>W-rakennus, lauhdutuspiiri</b>

<b>Lämpöpumppu 3</b>	<b>S800-ECO</b>
<b>Jäähdytysteho kW</b>	<b>714</b>
<b>Sähköteho kW</b>	<b>366</b>
<b>COP</b>	<b>2.94</b>
<b>Lämmitysteho kW</b>	<b>1075</b>
<b>Alustava hinta-arvio</b>	<b>144 700.00 €</b>
<b>Mitoituslämpötilat</b>	<b>6/11, 55/60</b>
<b>Asennuspaikka</b>	<b>W-rakennus, liuospiiri. Voidaan sijoittaa samantyyppinen lämpöpumppu myös jonkin rakennuksen yhteyteen.</b>

<b>Lämmönsiirtimet</b>	<b>2kpl</b>
<b>Alfa Laval CB400-270L</b>	<b>12 800.00 €</b>
<b>YHT.</b>	<b>25 600.00 €</b>

<b>Muut tarvikkeet</b>	
Kiertopumppu	AI1202/6
Kolmeks, sisältää varasarjan	<b>20 300.00 €</b>
Rakennusautomaatio	<b>5 000.00 €</b>
Moottoriventtiili	1 500.00 €
2 kpl	<b>3 000.00 €</b>
Kertasäätöventtiili	750.00 €
2kpl	<b>1 500.00 €</b>
Takaiskuventtiili	<b>925.00 €</b>
Lämpötila-anturit	<b>500.00 €</b>
Putkisto	100€/m
50 m	<b>5 000.00 €</b>
Asennustyöt 2kk	<b>30 000.00 €</b>

Kustannuslaskelmien yhteenveto takaisinmaksuajoista:

VJK:n käynnistymislämpötila	Käyttöveden lämmitys		Tilojen lämmitys	
	0 °C	+5 °C	0 °C	+5 °C
<b>Lämmönsiirtimet</b>	<b>6 vuotta 8 kk</b>	<b>11 vuotta 11kk</b>	<b>1 vuosi 9 kk</b>	<b>5 vuotta 2kk</b>
<b>Lämpöpumppu 1</b>	<b>99 vuotta</b>	-	<b>8 vuotta 8 kk</b>	-
<b>Lämpöpumppu 2</b>	-	-	<b>9 vuotta</b>	-
<b>Lämpöpumppu 3</b>	-	-	-	-

Yhteenvedosta nähdään, että lämmönsiirratkaisu maksaa itsensä kohtuullisessa ajassa takaisin riippumatta vedenjäähdytyskoneen käynnistymislämpötilasta. Lämpöpumppuratkaisu maksaa itsensä takaisin vain tilojen lämmityksessä silloin, kun vedenjäähdytyskoneet käynnistyvät ulkoilman lämpötilan ollessa yli 0 °C.

Tilojen lämmityksessä on lyhin takaisinmaksuaika, mutta lauhdelämmön käyttö lämmityksessä vaatii todennäköisesti lauhdelämmön varastointia. Varastoinnista aiheutuvia investointi- tai ylläpitokustannuksia ei ole huomioitu laskelmissa.

Käyttöveden esilämmityksessä kylmää käyttövettä esilämmitetään ensin lauhdelämmöllä +5 –asteesta +34 –asteiseksi, ja sen jälkeen hyödynnetään tilanteen mukaan joko höyrylaitoksen lauhdelämpöä ja/tai kaukolämpöä nostamaan veden lämpötila +60-asteiseksi. Käyttöveden esilämmityksessä on mahdollista ajaa lähes kaikki saatavilla oleva jäähdytyksen lauhdelämpö suoraan käytettäväksi, mikäli on vain lämpimän käyttöveden kulutusta.



## Liite 4 Lämmönsiirratkaisu

<b>Kustannukset</b>	
<b>Lämmönsiirratkaisu</b>	
<b>Tarvikkeet+ asennus yhteensä</b>	<b>91 825.00 €</b>
<b>Vuotuiset käyttökustannukset</b>	<b>4 500.00 €</b>
Kaikki hinnat alv 0 %, eivät sisällä maanrakennustöitä	

### Käyttöveden esilämmitys

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Käyttöveden esilämmitys +5 °C/+36 °C	Käyttöveden esilämmitys +5 °C/+36 °C
<b>Käytettävä tekniikka</b>	<b>Lämmönsiirtimet</b>	<b>Lämmönsiirtimet</b>
<b>VJK:n käynnistymislämpötila</b>	<b>0 °C</b>	<b>+5 °C</b>
<b>Vuotuinen energian säästö</b>	<b>0,319MW x 1655h = 528 MWh</b>	<b>0,319MW x 1062 = 339 MWh</b>
<b>Energian hinta/ MWh</b>	<b>35.00 €</b>	<b>36.00 €</b>
<b>Vuotuinen säästö</b>	<b>18 480.00 €</b>	<b>12 204.00 €</b>
<b>Saavutettavat muut hyödyt</b>	Tässä tapauksessa MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi tuotetaan parhaimmillaan täysin ilman kaukolämpöä, jäähdytyksen ja höyrylaitoksen tuottaman lauhdelämmön avulla. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. Edullisin hankintahinta.	Tässä tapauksessa MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi tuotetaan parhaimmillaan täysin ilman kaukolämpöä, jäähdytyksen ja höyrylaitoksen tuottaman lauhdelämmön avulla. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. Edullisin hankintahinta.
<b>Mahdolliset haitat</b>	Pienillä lauhde-energian määrillä, mitä esimerkiksi talviaikana syntyy, ei säävuteta kovin suuria hyötyjä. Lauhdutuspiirin lämpötila vaikuttaa vahvasti käyttöveden lämpötilan nostoon.	Pienillä lauhde-energian määrillä, mitä esimerkiksi talviaikana syntyy, ei säävuteta kovin suuria hyötyjä. Lauhdutuspiirin lämpötila vaikuttaa vahvasti käyttöveden lämpötilan nostoon.
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>6 vuotta 8 kk</b>	<b>11 vuotta 11 kk</b>

**Tilojen lämmitys**

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Tilojen lämmitys (Hilma-rakennus/ F-rakennus)	Tilojen lämmitys (Hilma-rakennus/F-rakennus)
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirtimet	Lämmönsiirtimet
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	1542 MWh	1008 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	53 970.00 €	35 280.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	Lauhdelämmöllä voidaan kattaa liitteen 2 laskelmien mukaisesti Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta noin 32 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustava lämmitystarve teoriassa kokonaan, mikäli lauhde-energia hyödynnettäisiin lähes täydellisesti.	Lauhdelämmöllä voidaan kattaa liitteen 2 laskelmien mukaisesti Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta noin 21 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustava lämmitystarpeesta 86 %, mikäli lauhde-energia hyödynnettäisiin lähes täydellisesti.
Mahdolliset haitat	Lauhdelämmön saatavuus vs. tilojen todellinen lämmitystarve ajallisesti. Ympärivuotinen hyödyntäminen vaatii lauhdelämmön väliaikaisvarastointia.	Lauhdelämmön saatavuus vs. tilojen todellinen lämmitystarve ajallisesti. Ympärivuotinen hyödyntäminen vaatii lauhdelämmön väliaikaisvarastointia.
Takaisinmaksuaika	1 vuosi 9 kk	5 vuotta 2 kk

## Liite 5 Lämpöpumppuratkaisu

Kustannukset			
Lämpöpumppuratkaisu	P-300	S-380	S-800
Tarvikkeet ja asennus yhteensä	164 325.00 €	138 425.00 €	205 925.00 €
Vuotuiset käyttökustannukset	36 000.00 €	45 000.00 €	77 000.00 €
Hinnat alv 0 %, eivät sisällä maanrakennustöitä			

### Käyttöveden lämmitys

Lämpöpumppuratkaisussa on tarkasteltu tilannetta, jossa lauhdutuspiirin +42-asteinen vesi kiertää lämpöpumpun kautta ja jäähtyy +36-asteiseksi. Lämpöpumppulla nostetaan lämpötilat +65/+50 – asteiseksi. +65-asteista vesi kiertää lämmönsiirtimessä, joka on yhteydessä +5-asteiseen käyttöveeseen. Käyttöveden lämpötilaa saadaan nostettua mitoitusilanteessa +5-asteesta +60-asteeseen.

Lämpöpumppu 1:

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla P-300	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla P-300
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1655h = 1076 MWh	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1062h = 690 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	37 660.00 €	24 150.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi voidaan tuottaa lähes kokonaan jäähdytyksen lauhdelämmöllä, vain pieni osa tarvitaan höyrylaitoksen lauhdelämpöä. Höyrylaitokselle palaava kuumempi lauhde parantaa myös höyrykattilan hyötysuhdetta. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. P-300 lämpöpumpulla on mahdollista hyödyntää jo pienikin määrä lauhde-energiaa.	MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi voidaan tuottaa lähes kokonaan jäähdytyksen lauhdelämmöllä, vain pieni osa tarvitaan höyrylaitoksen lauhdelämpöä. Höyrylaitokselle palaava kuumempi lauhde parantaa myös höyrykattilan hyötysuhdetta. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. P-300 lämpöpumpulla on mahdollista hyödyntää jo pienikin määrä lauhde-energiaa.
Mahdolliset haitat	Hankintahinta, pumppauskustannukset, todella pitkä takaisinmaksuaika.	Hankintahinta, pumppauskustannukset, vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	99 vuotta	-

## Lämpöpumppu 2

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla S-380	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla S-380
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1655h = 1076 MWh	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1062h = 690 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	37 660.00 €	24 150.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi voidaan tuottaa lähes kokonaan jäähdytyksen lauhdelämmöllä, vain pieni osa tarvitaan höyrylaitoksen lauhdelämpöä. Höyrylaitokselle palaava kuumempi lauhde parantaa myös höyrykattilan hyötysuhdetta. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. S-380 lämpöpumpulla hyvä COP-arvo, suuri lämmitysteho.	MNO-rakennuksen lämmin käyttövesi voidaan tuottaa lähes kokonaan jäähdytyksen lauhdelämmöllä, vain pieni osa tarvitaan höyrylaitoksen lauhdelämpöä. Höyrylaitokselle palaava kuumempi lauhde parantaa myös höyrykattilan hyötysuhdetta. Sijainti edullinen asennuksen kannalta. S-380 lämpöpumpulla hyvä COP-arvo, suuri lämmitysteho.
Mahdolliset haitat	Hankintahinta, pumppauskustannukset, minimi lämmitystehon ollessa 400 kW, niukkoja lauhde-energian määriä ei välttämättä päästä hyödyntämään. Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.	Hankintahinta, pumppauskustannukset, minimi lämmitystehon ollessa 400 kW, niukkoja lauhde-energian määriä ei välttämättä päästä hyödyntämään. Pitkä takaisinmaksuaika. Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	-	-

## Lämpöpumppu 3

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla S-800	Käyttöveden lämmitys lämpöpumpulla S-800
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1655h = 1076 MWh	Käyttöveden valmistukseen tarvittava 0,65 MW * 1062h = 690 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	37 660.00 €	24 150.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	Lämpöpumpulla voidaan nostaa jäähdytysvesipiirin +11/+6 -asteisen veden lämpötilaa +60/+55 -asteiseksi, jolloin jäähdytysvettä voidaan käyttää suoraan lämpimän käyttöveden valmistukseen. Tämä mahdollistaa lämpöpumpun joustavan sijoittamisen mihin päin tahansa jäähdytysverkostoa.	Lämpöpumpulla voidaan nostaa jäähdytysvesipiirin +11/+6 -asteisen veden lämpötilaa +60/+55 -asteiseksi, jolloin jäähdytysvettä voidaan käyttää suoraan lämpimän käyttöveden valmistukseen. Tämä mahdollistaa lämpöpumpun joustavan sijoittamisen mihin päin tahansa jäähdytysverkostoa.
Mahdolliset haitat	Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.	Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	-	-

**Tilojen lämmitys****Lämpöpumppu 1**

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla P-300	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla P-300
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Lämpöpumpun lämmitysteho 0,969 MW*1655h= 1604 MWh	Lämpöpumpun lämmitysteho 0,969 MW*1062h= 1029 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	56 140.00 €	36 015.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 33.5 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustava lämmitystarve 1,3-kertaisesti.	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 21.5 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustavasta lämmitystarpeesta 88 %.
Mahdolliset haitat	Lauhdelämpöä saatavilla eniten kesällä, jolloin lämmitystarpeen ollessa pieni, ei lauhdelämpöä voida kokonaan hyödyntää.	Lauhdelämpöä saatavilla eniten kesällä, jolloin lämmitystarpeen ollessa pieni, ei lauhdelämpöä voida kokonaan hyödyntää. Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	8 vuotta 8 kk	-

Lämpöpumppu 2

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla S-380	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla S-380
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Lämpöpumpun lämmitysteho 1,044 MW*1655h= 1728 MWh	Lämpöpumpun lämmitysteho 1,044 MW*1062h= 1109 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	60 480.00 €	38 815.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 36 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustava lämmitystarve 1,48-kertaisesti.	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 23 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustavasta lämmitystarpeesta 95 %.
Mahdolliset haitat	Lauhdelämpöä saatavilla eniten kesällä, jolloin lämmitystarpeen ollessa pieni, ei lauhdelämpöä voida kokonaan hyödyntää.	Lauhdelämpöä saatavilla eniten kesällä, jolloin lämmitystarpeen ollessa pieni, ei lauhdelämpöä voida kokonaan hyödyntää. Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	9 vuotta	-



## Lämpöpumppu 3

Lauhdelämmön hyödyntäminen	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla S-800	Tilojen lämmitys lämpöpumpulla S-800
Käytettävä tekniikka	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu	Lämmönsiirrin+ lämpöpumppu
VJK:n käynnistymislämpötila	0 °C	+5 °C
Vuotuinen energian säästö	Lämpöpumpun lämmitysteho 1,075 MW*1655h= 1779 MWh	Lämpöpumpun lämmitysteho 1,075 MW*1062h= 1142 MWh
Energian hinta/ MWh	35.00 €	35.00 €
Vuotuinen säästö	62 265.00 €	39 970.00 €
Saavutettavat muut hyödyt	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 37 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustava lämmitystarve 1,5-kertaisesti. Lämpöpumpulla voidaan nostaa jäähdytysvesipiirin +11/+6 -asteisen veden lämpötilaa +60/+55 -asteiseksi, jolloin jäähdytysvettä voidaan käyttää suoraan tilojen lämmitykseen. Tämä mahdollistaa lämpöpumpun joustavan sijoittamisen mihin päin tahansa jäähdytysverkostoa.	Lämpöpumpulla voitaisiin teoriassa kattaa liitteen 2 mukaisesta Hilma-rakennuksen lämmitystarpeesta 24 %, ja F-rakennuksen ilmanvaihdon alustavasta lämmitystarpeesta 98 %. Lämpöpumpulla voidaan nostaa jäähdytysvesipiirin +11/+6 -asteisen veden lämpötilaa +60/+55 -asteiseksi jolloin jäähdytysvettä voidaan käyttää suoraan tilojen lämmitykseen. Tämä mahdollistaa lämpöpumpun joustavan sijoittamisen mihin päin tahansa jäähdytysverkostoa.
Mahdolliset haitat	Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.	Vuotuiset käyttökulut ylittävät vuotuisen säästön, jolloin laite ei maksa itseään ikinä takaisin.
Takaisinmaksuaika	-	-