



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Miska Puska

# Vesistön lämpöenergian hyödyntäminen kelluvan lämmönsiirtimen avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

1.12.2020

Tekijä Otsikko	Miska Puska Vesistön lämpöenergian hyödyntäminen kelluvan lämmönvaihtimen avulla
Sivumäärä Aika	34 sivua + 3 liitettä 1.12.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	Energiatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Kaj Lindedahl
<p>Insinöörityön aiheena oli suomalaisen Geo-Pipe Oy:n kehittämän vesistölämmönvaihtimen hyödyntäminen merikylpylä Allas Sea Poolissa. Kaukolämmöllä lämmitettävien uima-altaiden lämmitys pyritään tulevaisuudessa korvaamaan kelluvan vesistölämmönvaihtimen ja lämpöpumpputjärjestelmän avulla. Insinöörityössä mitoitettiin merivesilämmönvaihtimen ja lämpöpumpputjärjestelmän prototyyppi. Lisäksi työssä käytiin läpi mahdollisuuksia lämmönvaihtimen käyttöön myös kiinteistön käyttöveden ja lämmityksen tuotannossa, sekä sen mahdollisuuksia kaksisuuntaiseen kaukolämpö- ja jäähdytystoimintaan.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla lämpöpumppujen ja vesistölämmönvaihtimien teoriaan, sekä vesistön potentiaaliin toimia lämmönlähteenä ympärivuotisesti Helsingin edustalla. Tämän jälkeen selvitettiin lämmitettävien altaiden lämpöhäviöitä, ja hyödynnettiin Salla Ruhasen insinöörityössä tekemiä laskentamalleja. Altain energiatarpeiden selvittyä päästiin valitsemaan järjestelmään sopivaa lämpöpumppua ammatilaisen avustuksella. Lämpöpumppuun vaadittavien tietojen perusteella voitiin mitoittaa vesistölämmönvaihtin. Lämmitysjärjestelmän hyödyntämistä kiinteistön käyttöveden ja lämmityksen tuotannossa sekä kaksisuuntaisessa kaukolämpötoiminnassa käytiin läpi kirjallisen tutkimuksen perusteella.</p> <p>Insinöörityössä onnistuttiin mitoittamaan lämpöpumppujärjestelmä sekä vesistölämmönvaihtin teoriassa altaiden lämmitystä varten. Lisäksi löydettiin mahdollisuuksia hyödyntää tätä myös kiinteistön muissa lämmitysjärjestelmissä.</p>	
Avainsanat	vesistölämmönvaihtin, lämpöpumppu, kaksisuuntainen kaukolämpöverkko

Author Title	Miska Puska Utilization of thermal energy from the water with a floating heat exchanger
Number of Pages Date	34 pages + 3 appendices 1 December 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Energy- and environmental engineering
Professional Major	Energy- engineering
Instructors	Senior Lecturer, Kaj Lindedahl
<p>Subject of the engineering work was the utilization of a water heat exchanger developed by the Finnish Geo-Pipe Oy in the sea spa Allas Sea Pool. The aim is to replace the heating of district-heated swimming pools with a floating water heat exchanger and a heat pump system in the future. The prototype of the seawater heat exchanger and heat pump system was dimensioned in the engineering work. Also, the possibilities of using a heat exchanger in the production of domestic hot water and heating, as well as its possibilities for two-way district heating and cooling, were examined in the thesis.</p> <p>Thesis project began with an introduction to the theory of heat pumps and water heat exchangers, as well as the potential of the water system to act as a heat source all year round in Helsinki. After this, the heat losses of the heated pools were investigated, using the calculation models made by Salla Ruhanen in her thesis. Once the energy needs of the pools were determined, it was possible to select a suitable heat pump for the system with the help of a professional. On the basis of information required for the heat pump, it was possible to dimension the water heat exchanger. The utilization of the heating system in the production of domestic hot water and heating, as well as in two-way district heating operations, was reviewed based on a written study.</p> <p>In this thesis, the heat pump system and the water heat exchanger were theoretically dimensioned for pool heating. Furthermore, opportunities were found to utilize this in other heating systems on the property as well.</p>	
Keywords	Water heat exchanger, heat pump, two-way district heating network

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vesistöjen lämpöenergia	1
2.1	Maailma	2
2.2	Potentiaali Suomessa	4
3	WHCEP Mega vesistövaihdin	5
4	Lämpöpumppu	6
4.1	Pääkomponentit ja niiden toiminta	7
4.2	Lämpökerroin	8
5	Lämmönsiirto	9
5.1	Konvektio	10
5.2	Konduktio	11
5.3	Lämpösäteily	12
6	Kylmäaineet	12
7	Lika lämmönsiirtopinnalla	13
8	KytKentä lämmön-, viilennyksen-, energiantuotannon ja jakelun järjestelmiin	16
8.1	Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko	16
8.1.1	Kiinteistöt asiakastuottajina	18
8.1.2	Teollisuuslaitokset asiakastuottajina	19
8.1.3	Käynnissä olevat hankkeet	19
8.2	Matalalämpöverkko	20
8.2.1	Tekniset vaatimukset	21
8.2.2	Asiakaslaitteet	21
8.2.3	Lämpöverkko	22
8.3	Hybridijärjestelmä	23

8.3.1	Määräykset ja ohjeet	23
8.3.2	Järjestelmän liittäminen kiinteistön lämmityspuoleen	24
8.3.3	Järjestelmän liittäminen kiinteistön käyttövesipuoleen	25
8.3.4	Varaaja	26
8.3.5	Koko järjestelmä	27
9	Pilottihanke	28
10	Järjestelmän mitoitus	29
10.1	Lämpöpumput	29
10.2	Merivesilämmönvaihdin	29
11	Yhdistäminen kiinteistön muihin järjestelmiin	30
12	Yhteenveto	31
13	Lähdeluettelo	
Liitteet		
Liite 1. NIBE 1345:n tekniset tiedot		
Liite 2. Helsingin edustan meriveden lämpötiloja		

## Lyhenteet

COP	Coefficient of Performance (lämpöpumpun hyötysuhde)
GWh	Gigawattitunti
KWh	Kilowattitunti
LS	Lämmönsiirrin
MWh	Megawattitunti
OTEC	Ocean thermal energy conversion (merilämpövoimala)
SWHP	Seawater source heat pump (merivesilämpöpumppu)

## 1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on suomalaisen Geo-Pipe Oy:n kehittämän vesistölämmönvaihtimen hyödyntäminen merikylpylä Allas Sea Poolissa. Kaukolämmöllä lämmitettävien uima-altaiden lämmitys pyritään tulevaisuudessa korvaamaan kelluvan vesistölämmönvaihtimen ja lämpöpumppujärjestelmän avulla. Insinööriyössä mitoitetaan merivesilämmönvaihtimen ja lämpöpumppujärjestelmän prototyyppi. Lisäksi työssä käydään läpi mahdollisuuksia lämmönvaihtimen käyttöön myös kiinteistön käyttöveden ja lämmityksen tuotantoon, sekä sen mahdollisuuksia kaksisuuntaiseen kaukolämpö- ja jäähdytystoimintaan.

Insinööriyön on tilannut Bluet-osakeyhtiö, joka on erikoistunut kelluvan rakentamisen ratkaisuihin. Yritys haluaa kehittää ja parantaa ranta-alueiden käytettävyyttä, luoda uusia toteutustapoja sekä asumisen ratkaisuja. Aurinkoenergiaa on vesistöissä rajattomasti, ja sitä voidaan hyödyntää lämpöpumppujärjestelmillä. Insinööriyössä mukana oleva Geo-Pipe Oy, on kehittänyt vesilämmönvaihtimen, joka toimiessaan tuottaisi ympäristöystävällistä vesistöenergiaa ja sen päästöt olisivat mahdollisesti ainoastaan 1/3 sähkölämmitykseen verrattuna.

Insinööriyö tehdään yhteistyötutkimuksena työn tilaajan, Geo-Pipe Oy:n sekä BIOS-tutkimusyksikön kanssa. Työ jaetaan yhdessä Lari Packalenin kanssa, molempien tehdessä erilliset insinööriyöt, jotka lopulta kootaan tilaajalle yhteiseen raporttiin. Insinööriyön aiheena on vesistön lämpöenergian hyödyntäminen kelluvan lämmönvaihtimen avulla.

## 2 Vesistöjen lämpöenergia

Uusiutuva energia on tunnustettu kiinnostavimmaksi ratkaisuksi, kun maailma siirtyy hiilipohjaisista polttoaineista hiilineutraaleihin ja vapaapolttoaineisiin. Nopeata prosessia puhtaisiin energiavaroihin siirtymiseen tarvitaan, koska kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, vaikutukset vaikuttavat rajusti maapallon lämpötilaan ja aiheuttavat ilmastolämpenemistä. Kiinnostus merienergiavoimaleihin on kuitenkin kasvussa. Maailman

valtamereet kattavat noin 70 prosenttia maapallon pinnasta, joten ehtymätöntä energiaa on laajalti saatavilla ympäri maailmaa. Valtameren energian hyödyntämisessä käytetään neljää päämenetelmää, joihin kuuluvat: aaltojen ja vuorovesien liikkeen aiheuttama energia, vedenalaiset vesivirrat ja valtameren syvyyden lämpötilaero. (Uusiutuva energia.)

Viime vuosina lämpöpumppujärjestelmät, joissa apuna käytetään luonnollisia energianlähteitä, kuten vesi, ilma ja maaperä, on alettu hyödyntää ja kehittää laajasti niiden päästöjen vähyyden ja energiasäästöpotentiaalin takia. Merivesivesilämpöpumput eli SWHP:t (Seawater Source Heat Pump) ovat osoittaneet merkittäviä etuja muihin järjestelmiin. Niillä on korkeampi energiatehokkuus, pienemmät vuodenajan lämpötilavaihtelut, ja ne ovat osoittautuneet tehokkaaksi tilojen viilennyksessä ja lämmityksessä.

## 2.1 Maailma

Vesien lämpöenergiaa käytetään jo hyväksi eri tekniikoilla ympäri maailmaa sähkön, lämmityksen ja viilennyksen tuottamiseen. Parhaimpiin tuloksiin päästään syvien valtamerien lähellä päiväntasaajaa, missä pintaveden ja syvän pohjaveden lämpötilaerot ovat suuria. Merilämpövoimala (OTEC) hyödyntää tekniikassaan pohja ja pintavettä samaan aikaan. Lämpöpumpussa käytettävää kylmääainetta lämmitetään lämpimällä pintavedellä höyrystimessä, minkä jälkeen kaasu tai höyry siirtyy turbiinille. Kylmäaineen siirtyessä läpi turbiinin se ohjataan lauhduttimelle, jossa se palautetaan jälleen nestemäiseen muotoon jäähdyttämällä sitä kylmällä pohjavedellä. (Ocean thermal energy conversion.)

Maailman suurin tämänhetkinen OTEC- voimala sijaitsee Havaijilla, tuottaen ainoastaan noin 100 kW yhteensä 120 taloudelle. Samalle alueelle suunnitellaan rannikon lähellä olevaa kelluvaa OTEC-voimalaa, joka tuottaisi mahdollisesti 100 MW ja 120 000 taloutta saataisiin sähköistettyä. (Ocean thermal energy conversion.)

OTEC-voimalat pystyvät hyödyntämään merivettä myös muihin tarkoituksiin. Sähkön- tuotannon lisäksi voimaloita voidaan käyttää ilmastointiin, kaukolämmitykseen ja jäähdytykseen tai puhtaan veden tuottamiseen. Puhdasta vettä voitaisiin tuottaa lisäämällä laitoksen yhteyteen käänteisosmoosi tekniikka käyttävä suolanpoistolaitos, joka käyttäisi energiana OTEC-voimaloiden tuottamaa energiaa. Mageshin vuonna 2010 julkaiseman



tutkimuksen mukaan lähes 2,28 miljoonaa litraa puhdasta vettä saataisiin päivittäin jokaisen OTEC-voimalan tuottaman megawatin yhteydessä. (Magesh, 2010:1.)

Rannan lähellä oleva riittävän syvä merivesi takaa vakaan lämmönlähteen lämpöpumpuille. Pohjoismaista Norjalla on erinomaiset olosuhteet merivesilämpöpumppujen käyttämiseen. Golfvirta lämmittää Norjan rannikoita siten, että ne eivät jäädy talvisin. Lisäksi rannikko on vuonoista ja syvää, jolloin riittävän lämmintä vettä saadaan hyvin läheltä rannikkoa myös talvella. Esimerkiksi Norjan Drammenin kaupungissa tuotetaan 63 % sen kaukolämpötarpeista kolmella merivesilämpöpumpulla, jotka tuottavat yhteensä vuosittain noin 67 GWh lämmitystä. Merivesilämpöpumput ovat korvanneet polttoöljyn, biomassan ja muut poltettavat energianlähteet ja vähentäneet hiilidioksidipäästöjään 8 tuhatta tonnia vuosina 2011–2019. Olosuhteet lämpöpumppujen käyttämiselle ovat ihanteelliset, sillä vuonosta käytettävän veden lämpötila on noin 8°C 18 metrin syvyydessä vuodenajasta riippumatta. (District heating from seawater, Drammen, 2019)

Myös Ruotsissa ja sen pääkaupungissa on edulliset olosuhteet merivesilämpöpumpun käyttöön. Tukholman kaupungin edustalla on syvänteitä, joissa veden lämpötila ei pääse laskemaan liian alhaiseksi talvellakaan, joten lämpöpumpuille saadaan vettä lähes rannan tuntumasta ympäri vuoden. Tukholman edustalle syntyy myös ”luonnollinen lämpöpumppu”, sillä Mälaren-järven makea vesi laskee Tukholman halki Itämereen. Makea vesi sekoittuu suolaiseen ja nostaa Itämeren syvänteistä lämmintä vettä kohti pintaa Tukholman edustalla. (Merivesilämpöpumput kiinnostava mahdollisuus myös Helsingissä.)

Tukholman kaupungissa noin 60 % asiakkaista on valinnut lämmitysmuodokseen kaukolämmityksen ja lämpöpumpuilla tuotetaan yhteensä noin 500 MW. Nämä lämpöpumput tuottavat ns. pohjakuorman kaukolämpötuotantoon yhdessä biopolttoaineella toimivien laitosten kanssa. 60 % keskusverkon energiantuotannosta tarjoaa Ropstenin kaukolämpölaitos. Lämpöpumput asennettiin laitokselle 1980-luvulla öljyn hinnan nousun ja sähkön hinnan laskun seurauksena. Laitoksella on yhteensä 10 lämpöpumppuyksikköä, joiden yhteenlaskettu lämmöntuotto on noin 300 MW, ollen täten maailman suurin merivesikäyttöinen lämpöpumppu. Sen lämpöteho perustuu tasaisen kylmän meriveden hyödyntämiseen kaukojäähdytyksessä, sekä kaukojäähdytyksen paluuveden

ylijäämälämmön hyödyntämiseen kaukolämmön tuotannossa. (Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä, 2016; Värtan Ropsten – The largest sea water heat pump facility.)

## 2.2 Potentiaali Suomessa

Suomi on syvällä Itämeren perukoilla, missä ei samanlaisia mahdollisuuksia ole hyödyntää ja käyttää neljää päämenetelmää energian saamiseksi. Itämeren aallot eivät ole useinkaan riittävän suuria, sen pienen koon ja virtausten takia vuorovesi-ilmiötä ei juuri-kaan havaita, vedenalaiset vesivirtaukset ovat liian heikkoja ja Itämeren keskisyvyys on ainoastaan 54 metriä, jolloin pinnan ja pohjan lämpötilaerot jäävät usein liian pieneksi. Merivesien lämpötilat vaihtelevat toki vuosittain. Myöskään jääpeitteen syntyminen Suomen etelärannikolle ei nykypäivänä ole itsestäänselvyys. Matalassa vedessä jääpeite antaa suojaa talvimyrskyiltä, jolloin pohjalla oleva vesi ei pääse sekoittumaan pinnalla olevan kanssa ja pysyy täten lämpimämpänä. (Itämeri - ympäristö ja ekologia. 2014.)

Lämpöpumppujen tehokkuus kasvaa, mitä lämpimämpää vettä käyttöön saadaan ja siten pienempi vesimäärä riittää lämmön tuottamiseen. Samalla saadaan laskettua myös laitteistojen kokoa ja useimmiten myös investointikustannuksia. Lämpöpumppujen minimilämpötilana pidetään noin 3 °C mutta esimerkiksi WHCEP Mega saattaa valmistajan mukaan toimia vielä 2-asteisessa vedessä. Helenin ja Helsingin kaupungin tekemän selvityksen mukaan helmi-huhtikuussa 3-asteista vettä saadaan 35 metrin syvyydestä 20 %:n todennäköisyydellä ja 2-asteista vettä 50 %:n todennäköisyydellä lähimpien alueiden ollessa noin 12 kilometrin päästä Helsingin rannikosta. (Merivesilämpöpumput kiinnostava mahdollisuus myös Helsingissä.)

Energia-alan yritys Helen rakentaa Vuosaaren yhteistuotantovoimalaitoksen yhteyteen merivesilämpöpumpun, jossa lämmönlähteenä talvikuukausien ajan toimii voimalaitoksen prosessissa syntyvän jäähdytysvesikierron hukkalämpö. Meriveden lämpöä voidaan hyödyntää keskimäärin 6 kuukautta vuodessa. Helenin kertomien arvioiden mukaan noin 80 % tuotannosta hyödyntää voimalaitoksen synnyttämää hukkalämpöä ja loput 20 % meriveden lämpöä. Kyseisen lämpöpumpun kaukojäähdytystehon odotetaan olevan noin 9,5 MW ja kaukolämpötehon noin 13 MW. Uuden merivesilämpöpumpun odotetaan valmistuvan vuonna 2022, ja se vähentäisi Helenin hiilidioksidipäästöjä jopa 30000

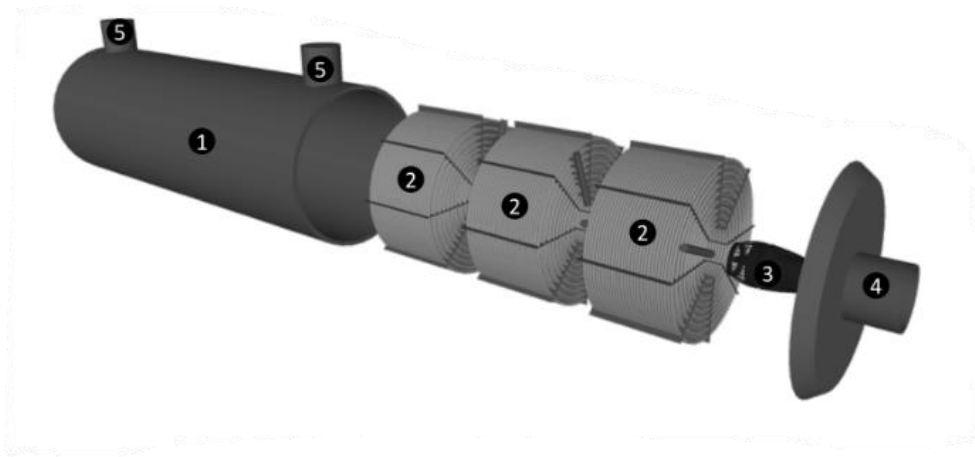
tonnia vuodessa. (Vuosaaren uusi, ainutlaatuinen meriveden lämpöä hyödyntävä lämpöpumppu.)

### 3 WHCEP Mega vesistövaihdin

Suomalaisen GeoPipe-yrityksen suunnitelma on kehittää ja valmistaa kestäviä ja päästöttömiä energian keräysmenetelmiä maasta sekä vedestä. Yritykselle on myönnetty lukuisia patenteja ympäri maailmaa ja yksi näistä on insinööriyössä käytettävä WHCEP Mega-vesistövaihdin. (Geopipe Oy.)

Tämä vesistövaihdin on suunniteltu uusiutuvan energian hyödyntämiseen, sillä se käyttää hyväksi auringon vesistöön varaamaa loputonta energiaa. Tämä energia saadaan hyödynnettyä vesistövaihtimen, eli siis lämmönvaihtimen yhteyteen yhdistetyllä lämpöpumpulla. Vaihtimen tuottamat päästöt ovat 1/3 sähkölämmitykseen verrattuna, riippumatta siitä miten ostettu sähkö tuotetaan. Yrityksen tekemässä esitteessä kerrotaan vaihtimen tuottavan mahdollisesti jopa 1,8GWh vapaata, eli ilmaista energiaa vuosittain. Vaihdinta pystytään käyttämään sekä lämmitykseen, että jäähdytykseen. Yritys esittelee tämän vaihtimen pääsevän 240–720 kW tuottoon riippuen moduulien lukumäärästä. (Geopipe Oy.)

Kuvassa 1 on havainnekuva WHCEP Mega-vaihtimesta. Se on kokonaan polyeteenistä valmistettu korroosion kestävä lieriön muotoinen tankki, joka sisältää useimmiten 2–6 erillistä moduulia. Jokaisen moduulin kylmäteho on noin 90–120 kW vesistön lämpötilan mukaan. Moduulit koostuvat parhaimmillaan useiden kilometrien pituisista rullalla olevista putkista, joiden sisällä käytettävä lämmönkeruuneste kiertää varastoiden samalla vaihtimen läpi virtaavan veden lämpöä. Tämä lämmitetty lämmönkeruuneste siirtyy seuraavaksi lämpöpumpun höyrystimelle, jossa se nostaa erillisen kylmäainepiirin kylmäaineen lämpötilaa. Luovutettuaan lämpöenergiansa kylmäaine palaa vaihtimelle, jossa prosessi alkaa uudelleen. (Geopipe Oy.)



Kuva 1. WCHep Mega havainnekuva. 1. lämmönvaihtimen kuori 2. lämmönvaihdin moduuli 3. pumppu 4. veden ulostulo 5. huoltoluukut (Geopipe)

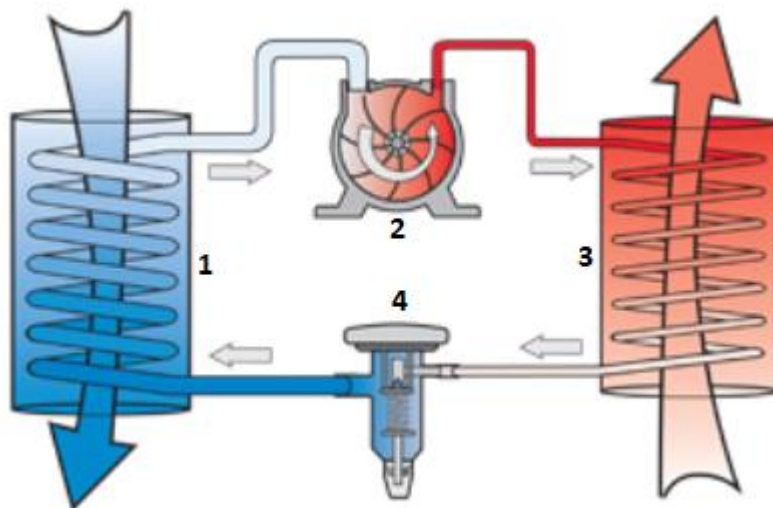
#### 4 Lämpöpumppu

Lämpöpumpputermi viittaa joukkoon tekniikoita, joissa lämpöä siirretään matalasta lämpötilasta korkeaan lämpötilaan. Tällaisia tekniikoita ovat jäähdytysjärjestelmät sekä lämpöpumppujen lämmitysjärjestelmät. Lämpöpumppu on kuin tavanomainen ilmastointi järjestelmä, joka on varustettu tarvittavilla komponenteilla, jotta sen kiertokulun pystyy kääntämään. Kun lämpöpumpun systeemi käännetään, se absorboi lämpöä ulkoisesta lämmönlähteestä ja se voidaan vapauttaa esimerkiksi rakennuksen sisällä (Herold, 2016:1.)

Lämpöpumput ovat siis kylmälaitteita, jotka on suunniteltu lämmityskäyttöön. Jäähdytykseen tarkoitetun kylmälaitteen, esimerkiksi jääkaapin tehtävänä ei ole siirtää kaappiin kylmää vaan siirtää lämpöä pois. Lämpöpumpun tehtävänä on kerätä lämpöä ulkoisesta lämmönlähteestä, kuten vesistöistä, ja siirtää tämä saatu lämpö kylmäaineen avulla. Lämpöpumppu on siis systeemi, jolla on valmiudet tuottaa lämpöä sekä viilennystä. Tekniikan tehtävänä on pitää yllä sen ympäristöstä poikkeavia lämpötiloja, joten termodynamiikan perusteet pitää ymmärtää. Sen ensimmäisen pääsäännön mukaan energia ei häviä vaan se muuttaa muotoaan ja systeemiin voidaan tuoda energiaa lämpönä ja työnä. Toinen pääsääntö on lämpötilan siirtymisen suunta. Kylmän ja lämpimän kappaleen vaikuttaessa toisiinsa, lämmin luovuttaa energiaansa, eli lämpöä kylmään kappaleeseen niin kauan, että molempien kappaleiden lämpötila on sama (Junkala, 2009:10.)

#### 4.1 Pääkomponentit ja niiden toiminta

Lämpöpumppujen pääkomponentit kylmäaineprosessissa ovat paisuntaventtiili, höyrystin, kompressor, lauhdutin. Kuvassa 2 on esitetty lämpöpumpun toiminta ja alempana selitetty lämpöpumpun prosessi ja sen pääkomponenttien toiminta.



Kuva 2. Lämpöpumpun toiminta. (PEDA)

Höyrystimellä (1) matalapaineinen jääkylmä kylmäaine kohtaa lämpimän lämmönkeuruunesteen nostattaen sen lämpötilaa. Höyrystimen matalan paineen ansiosta kylmäaine alkaa kiehua ja höyrystyy. (Lämpöä ilmassa:3.)

Kompressorin (2) tehtävä lämpöpumpun toiminnassa on kierrättää sen sisällä olevaa kylmäainetta systeemin läpi. Kompressorin nostattaman paineen vaikutuksesta paineero systeemissä kasvaa ja saa kylmäaineen virtaamaan. Kylmäaineen painetta nostetaan höyrystymispaineesta lauhtumispaineeseen, jolloin äkillisen paineen nousun takia kylmäaineen lämpötila nousee. (Lämpöä ilmassa:3.)

Lämpöpumpuissa käytetään yleisimmin hermeettisiä kompressoreita, joissa sähkömoottori ja kompressor ovat tiiviin kuoren sisällä. Nämä kompressorit ovat yleensä pieniä mäntä- ja kierukka eli scroll-kompressoreita. Mäntäkompressorit ovat yleisimmin käytössä pienien kauppojen kylmähuoneissa ja laitteissa, sekä kotitalouksien jää- ja pakastinkaapeissa. Scroll-kompressoreita käytetään tänä päivänä ilma- vesilämpöpumpuissa,

maalämpöpumpuissa, tulo- ja kierrätysilmajäähdytteisissä suora höyrystyskoneissa, sekä kaappi- ja vakioilmastointikoneissa. Scroll-kompressoreiden käynti on huomattavasti tasaisempi ja värinättömämpi, sillä niissä on vähemmän liikkuvia osia ja täten ne ovat miltei kokonaan syrjäyttäneet perinteiset mäntäkompressorit. (Lämpöä ilmassa:3.)

Kompressorin jälkeen korkeapaineinen kuuma höyry tai kaasu johdetaan lauhduttimelle (4), jossa se kohtaa lauhduttimen toisella puolella olevan viileämmän nesteen. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpötilaerot pyrkivät aina tasoittumaan ja siirtyminen tapahtuu korkeammasta lämpötilasta kylmempään. Tämän seurauksena korkeapaineinen kylmäaine luovuttaa lämpöä lauhduttimen vastapuolella olevalle fluidille samalla itse jäähtyen, jolloin se lopulta palaa nestemäiseen muotoon. (Lämpöä ilmassa:3.)

Paisuntaventtiili (4) erottaa matala- ja korkeapainepuolen toisistaan. Lauhduttimelta tuleva jäähtynyt ja nesteeksi muuttunut, mutta korkeapaineinen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiiliin. Paisuntaventtiilissä tapahtuva paineen lasku jäähdyttää kylmäaineen. Paisuntaventtiili ja höyrystin muodostavat yhteisen kokonaisuuden. Paisuntaventtiilin tehtävä on säännöstellä kylmäaineen virtausta mahdollisimman tarkasti, jotta höyrystimelle saapuu täysin nesteytynyttä kylmäainetta ja höyrystimen jälkeinen kylmäaine olisi täysin kylläistä. (Lämpöä ilmassa:3.)

## 4.2 Lämpökerroin

Oikein rakennetut ja toimivat lämpöpumput ovat tehokkaampia kuin melkein kaikki muut lämmitysmuodot. Kansainvälistä termiä Coefficient of Performance (COP) on käytetty keskusteltaessa lämpöpumppujärjestelmien tehokkuudesta. Tämä termi kertoo, kuinka paljon lämpöä lämpöpumppu pystyy tuottamaan suhteessa sähköön, jota tarvitaan energian hyödyntämiseen. Esimerkiksi COP arvo 4 kertoo lämpöpumpun pystyvän tuottamaan 4 kertaa niin paljon lämpöenergiaa, kuin se tarvitsee sähköä. Toisin sanoen lämpöpumppujen teho on niiden luovuttama lämpöteho. COP arvon saadaan laskettua alla esitetyllä kaavalla 1 (Langley, 2001:21–22.)

$$COP = \frac{Q_l}{Q_s} \quad (1)$$

jossa:  $Q_l$  = tuotettu lämpö (kWh)  
 $Q_s$  = käytetty sähkö (kWh)

Parempi lämpökerroin saavutetaan, mitä pienempi on lauhtumislämpötilan ja höyrystymislämpötilan erotus. Mitä matalammassa lämpötilassa pumppu luovuttaa lämpöä sitä parempi COP-arvo saadaan.

## 5 Lämmönsiirto

Termodynamiikan toinen pääsääntö toteaa, ettei suljetun systeemin entropia voi koskaan pienetä. Entropia on termodynamiikan perussuureista ja tarkoittaa epäjärjestystä, energian jakautumista sille varatussa tilassa, sekä todennäköisyyden ja satunnaisuuden kasvamista. Lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan tästä syystä lämpimästä kylmään. Lämpöenergian siirtyminen matalammasta korkeampaan ei onnistu ilman ulkoista työtä. Lämmönvaihtimen läpi siirtyvä teho saadaan laskettua kaavalla 2 (Seppälä, 2008; Energiatehokas lämmönsiirto:4.)

Lämmönvaihtimen läpi siirtyvä teho saadaan laskettua kaavalla:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T = U\Delta T_{ln} \quad (2)$$

jossa:  $\dot{Q}$  = lämpöteho (kW)  
 $\dot{m}$  = virtaavan aineen massavirta (kg/s)  
 $c_p$  = saman aineen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)  
 $\Delta T$  = saman ainevirran meno ja tulolämpötilan erotus (K)  
 $U$  = lämmönsiirtimen kokonaislämmönsiirtokerroin (W/K)  
 $T_{ln}$  = logaritminen lämpötilaero (K)

Logaritmisen lämpötilaeron saa laskettua kaavalla:

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (3)$$

jossa:  $\Delta T_1$  = virtojen lämpötilaero lämmönvaihtimen alkupäässä (K)  
 $\Delta T_2$  = virtojen lämpötilaero lämmönvaihtimen loppupäässä (K)

Lämpöenergiaa siirtyy kolmella eri tavalla: konvektiolla eli kuljettumalla ja säteilyllä virtaavan aineen välityksellä, konduktiolla eli johtumalla sekä säteilyllä.

## 5.1 Konvektio

Lämmön siirtymistä nesteen tai kaasun virtauksen mukana kutsutaan konvektioksi. Ohi virtaavan aineen ja kiinteän pinnan välillä oleva lämpötilaero aiheuttaa lämpötilan siirtymisen kiinteälle pinnalle ja siitä pois (kuumasta kylmään). Virtaavan aineen ja kiinteän pinnan välille muodostuu rajakerros, jossa lämpötilaero ja nopeus laskevat nollaan. Rajakerroksen paksuus ja muoto riippuvat aineen ominaisuuksista, virtausnopeudesta, pinnan geometriasta ja siitä, onko virtaus laminaarista vai turbulентtista. Konvektiota on luonnollista ja pakotettua. Luonnollinen konvektio syntyy, kun lämpötilaero aiheuttaa sitä ympäröivään kaasuun tai nesteeseen tiheyseroja, jotka saavat aikaan virtauksen. Pakotetussa konvektiossa virtaus muodostetaan ulkoisella voimalla, kuten puhaltimella tai pumpulla. Lämmönsiirto on pakotetussa konvektiossa kappaleesta aineeseen paljon tehokkaampaa kuin luonnollisella konvektiolla. Konvektiolla siirtyvä lämpövirta saadaan kaavalla: (Sinivuori, 2016:10.)

$$\dot{q} = a(T_p - T_y) \quad (4)$$

jossa:  $\dot{q}$  = lämpövirta (W/m)  
 $a$  = lämmönsiirtokerroin (W/m<sup>2</sup>K)  
 $T_p$  = pinnan lämpötila (°C)  
 $T_y$  = ympäröivän kaasun tai nesteen lämpötila (°C)



Konvektiossa lämmönsiirtymisen tärkeä tekijä on virtauksen rajakerros. Laminaarisessa virtaus on yhdensuuntainen, joten rajakerroksessa ei tapahdu sekoittumista ja lämmönsiirtyminen tapahtuu pääosin rajakerroksen läpi johtumalla. Turbulenttiossa virtauksessa myös rajakerroksessa tapahtuu virtausta ja pyörteitä. Reynoldsin luvun avulla pystytään määrittämään, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Virtaus on laminaarista luvun ollessa 2 300 tai alle ja turbulenttista sen ollessa yli 4 000. Siirtymävyöhykkeeksi kutsutaan 2300:n ja 4000:n väliin jääviä lukuja, jolloin virtaus voi olla sekä turbulenttista tai laminaarista. Reynoldsin luku putkivirtaukselle lasketaan kaavalla: (Sinivuori, 2016:10.)

$$Re = \frac{Dvp}{\mu} \quad (5)$$

jossa:      Re=dimensioton Reynoldsin luku  
               D=putken halkaisija (m)  
               v=virtausnopeus m/s  
               p=virtaavan fluidin tiheys (kg/m<sup>3</sup>)  
               μ=fluidin dynaaminen viskositeetti (Pa s)

## 5.2 Konduktio

Konduktiossa lämpöenergia johtuu jonkin materiaalin läpi, esimerkiksi seinän läpi kulkeva lämpöhäviö. Lämpöenergia siirtyy johtumisessa suoraan molekyylien kosketuksessa, ilman ainesiiirtoa. Kaikilla materiaaleilla on niille ominainen lämpövastus. Mitä pienempi lämpövastuksen luku on, sitä paremmin lämpöenergia johtuu kyseisen materiaalin läpi. Toisin sanoen lämpövastusluku kertoo, kuinka hyvin tai huonosti lämpöenergia siirtyy materiaalin läpi. Fourierin laki kuvaa johtumalla tapahtuvaa lämpövirtaa ja se lasketaan kaavalla: (Sinivuori, 2016:9.)

$$\dot{q} = -\lambda \Delta T \quad (6)$$

jossa:       $\dot{q}$ =lämpövirta (W/m)  
               λ=lämmönjohtavuus (W/mK)  
               ΔT=lämpötilaero (K)

### 5.3 Lämpösäteily

Jokainen materiaali ja kappale lähettää sähkömagneettisia säteilyä pohjautuen kappaleen lämpötilaan. Tällainen energian vapautuminen säteilemällä tapahtuu aallonpituus alueella  $0,3 < \lambda < 50 \mu\text{m}$ . Kappaleesta lähtevään lämpösäteilyyn vaikuttaa pinnan lämpötila, sillä suuremmassa lämpötilassa säteily on lyhytaaltoisempaa. Säteilyn osuessa muihin materiaaleihin, osa absorboituu siihen ja muuttuu kappaleen sisäiseksi energiaksi. Loput lämpösäteilystä läpäisee materiaalin tai heijastuu siitä pois. Lämpösäteilyä voi tapahtua myös tyhjiössä, kun taas konvektiossa ja konduktiossa, lämpöenergia tarvitsee väliaineen siirtyäkseen. Kappaleen säteilyteho lasketaan kaavalla: (Sinivuori,2016:11–12.)

$$M_m = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (7)$$

jossa:  $M_m$ =säteilyteho ( $\text{W/m}^2$ )  
 $\varepsilon$ =emissiokerroin  
 $\sigma$  =Boltzmannin vakio  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4)$   
 $T_s$  =Säteilyä emittoivan pinnan lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 6 Kylmäaineet

Lämpöpumppulaitteistoissa käytettävien höyrystymisprosessi kiertoaineita kutsutaan kylmäaineiksi. Ne ovat jaoteltu eurooppalaisen standardin EN378-1 mukaan kolmeen eri ryhmään:

- ilmaa palamattomat
- alempi syttymisraja ilmaa vähintään 3,5til.-%
- alempi syttymisraja ilmaa alle 3,5til.-%.

Termodynaamisilta ominaisuuksiltaan ideaalien kylmäaineiden käyttäytymisen kierto-prosessissa määräävät höyrystymislämpö, moolimassa, höyrönpaine, ominaislämmöt,

viskositeetti sekä sen lämmönjohtavuus. Korkeisiin lauhtumislämpötiloihin ja mataliin höyrystymislämpötiloihin on löydettävä mahdollisimman vähän tulistuva aine, sillä näiden lämpötilojen eron kasvaessa tulistuminen puristuksessa lisääntyy. Kemiallisilta ominaisuuksilta käytettävien kylmäaineiden on oltava riittävän stabiileita. Lisäksi niiden on oltava mahdollisimman epäaktiivisia kosketuksissa olevien materiaalien, ilman, kosteuden ja öljyn kanssa. Lisäksi tärkeänä kemiallisena ominaisuutena olisi olla palamattomuus, varsinkin suurissa laitoksissa. Pienissä koneistoissa tästä vaatimuksesta voidaan hieman tinkiä. Fysiologisina vaatimuksina voidaan pitää vähäinen ärsyttävyys limakalvoille ja hengityselimille sekä toivottavana ominaisuutena myrkyttömyys (Aittomäki:106–108).

Vaikka vesi kylmäainekierrossa kielletty aine, sen täydellistä joutumista koneistoon on erittäin hankala välttää. Sen vaikutus koneistossa on sitä sopimattomampi, mitä pienempi on sen liukenevuus kylmäaineeseen. Vesi aiheuttaa myös korroosiota, voimistaa öljyn ja kylmäaineen välisiä reaktioita sekä lisää öljysakan muodostumista. Lämpöpumpukoneistossa veden jäätyminen vaara on suurin paisuntaventtiilissä. (Aittomäki:110)

## 7 Lika lämmönsiirtopinnalla

Lika lämmönsiirtimien pinnalla on yleinen ongelma ja sen poistaminen kokonaan on miltei mahdotonta. Niihin puuttumien on silti välttämätöntä, sillä lika häiritsee virtauksen lämmönsiirtoprosessin kulkua ja aiheuttaa energiatehokkuuden heikkenemistä. Lämmönsiirtopinnalle syntynyt lika heikentää siirtimen tehokkuutta, sillä lialla on suurempi lämmönvastus ja vastustaa täten lämmönsiirtoa. Lämmönsiirtokertoimen huononeminen tarkoittaa, ettei kuuma virta ei jäähdy tarpeeksi tai kylmä lämpene. Lisäksi lika aiheuttaa virtauksen heikkenemistä ja painehäviöitä lämmönsiirtimessä, mikä joudutaan korjaamaan pumppauksen tehostamisella, joka taas nostaa kustannuksia. (Energiatehokas lämmönsiirto:3)

Suurella osalla teollisuudenaloista käytetään hyväksi lämmönsiirtoa. Lämmönsiirtopintojen likaantuessa ja energiatehokkuuden laskiessa yritysten kustannukset nousevat, mikä näkyy kuluttajalla tuotteiden ja valmisteiden hintojen nousun takia. Motivan julkaisemassa Energiatehokas lämmönsiirto- oppaassa arvioidaan lämmönsiirtopintojen

likaantumisen aiheuttavan 500 miljoonan euron vuosittaiset kustannukset. Tämä perustuu arvioon, jossa likaantumisen kustannusten kerrotaan olevan 0,25 % bruttokansantuotteesta. Suuret kustannukset syntyvät investointikustannusten nousussa, lisääntyneissä energiakustannuksissa, lisääntyneistä huoltokustannuksista ja menetetyistä tuotannosta. (Energiatehokas lämmönsiirto:3)

Insinööriyössä käytettävä lämmönsiirrin upotetaan vesistöön, joten likaantuminen tulee aiheutumaan pääsääntöisesti biologisen likaantumisen seurauksena. Tämä likaantuminen jaetaan kahteen eri alatyypin, makrobiolikaantumiseen ja mikrobiolikaantumiseen. Makrobiolikaantuminen tarkoittaa makro-organismien, esimerkiksi simpukoiden tai kasvillisuuden, kiinnittymistä lämmönsiirtopinnoille. Mikrobiolikaantuminen tarkoittaa levien, sienten, hiivojen tai bakteerien kiinnittymistä lämmönsiirtopinnoille. Ensisijaisesti lämmönsiirtopintojen likaantuminen vettä sisältävissä prosesseissa tapahtuu ensin mikrobiolikaantumisenä, jonka jälkeen sen pinnalle syntyy makrobiolikaantumista. Kuvassa 3 on esitetty lämmönvaihtimissa virtaavien aineiden tyypillisiä likavastuksen arvoja. (Tiinanen, 2017:20–21.)

Virtaava aine	Likavastus ( $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ K/W}$ )	
	Levylämmönvaihdin	Putkilämmönvaihdin
Pehmennetty vesi	0,018	0,18-0,35
Jäähdytystornin jäähdytysvesi	0,044	0,18-0,35
Merivesi	0,026	0,18-0,35
Jokivesi	0,044	0,35-0,53
Voiteluöljy	0,053	0,36
Orgaaniset liuottimet	0,018-0,053	0,36
Vesihöyry (puhdistetusta vedestä)	0,009	0,18

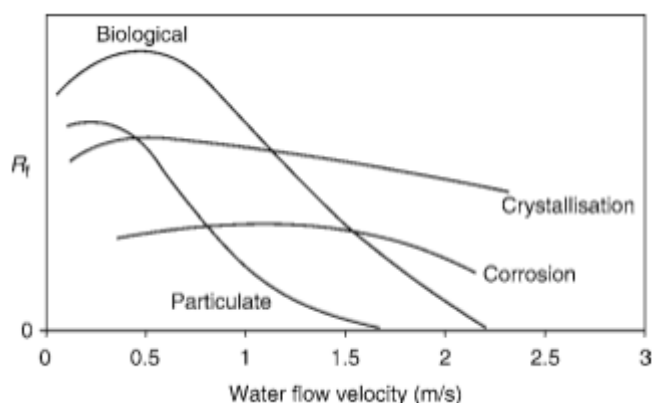
Kuva 3. Virtaavien aineiden aiheuttamia tyypillisiä likavastuksen arvoja. (Energiatehokas lämmönsiirto)

Lämmönsiirtimen mitoitusvaiheessa otetaan usein huomioon lämmönvastusta lisäävä likaantumisvastus  $R_f$ , mikä aiheuttaa myös tarvittavan lämmönsiirtopinta-alan kasvattamista. Likaantumisvastus tarkoittaa likakerroksen aiheuttamaa lämpövastusta. Kokonaislämmönsiirtokerroin saadaan alla esitetyllä kaavalla, joka on yhtälö lämmönsiirtimen putken ulkopinnan suhteen. (Tiinanen, 2017:17.)

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{R_w}{A_w} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_i A_i} \quad (8)$$

jossa:  $h$ =konvektiivinen lämmönsiirtokerroin  
 $A$ =putken seinän pinta-ala  
 $A_w$ =Keskimääräinen seinämän pinta-ala  
 $R_f$ =Likaantumisvastus  
 $R_w$ =Seinämän lämmönsiirtovastus  
 $U$ =Kokonaislämmönsiirtokerroin

Lämmönsiirtimien läpi virtaavan nesteen nopeudella on suuri merkitys sen likaantumiseen. Virtausnopeuden kasvu vähentää lämmönsiirtimien likaantumista etenkin biologisessa likaantumisessa. Toisaalta lian kerrostumien voi kiihtyä virtauksen kasvaessa, mutta samalla se myös vauhdittaa sen irtoamaista. Lian irtoaminen syntyy sen mekaanisesta lujuudesta ja lämmönsiirtimen pinnan leikkausjännityksestä virtaavan nesteen nopeuden kasvaessa. Kuvassa 4 on esitetty virtausnopeuden vaikutusta eri likaantumistyyliin. (Tiinanen, 2017:21–22.)



Kuva 4. Veden virtaaman vaikutus likaantumisvastukseen. (Tiinanen, 2017)

Likaantumiseen vaikuttaa myös lämmönsiirtopinnan lämpötila. Pinnan lämpötilan kasvaessa myös likaantuminen runsastuu ja se kiihdyttää saostumista, korroosiota ja muita eri reaktioita. Pinnan lämpötilan pysyessä matalampana, likaantuminen usein hidastuu ja se on usein helpommin irrotettavissa. Matalat lämpötilat voivat kuitenkin aiheuttaa myös jähmettymistä ja saostumista. (Tiinanen, 2017:23)

## 8 Kytcentä lämmön-, viilennyksen-, energiantuotannon ja jakelun järjestelmiin

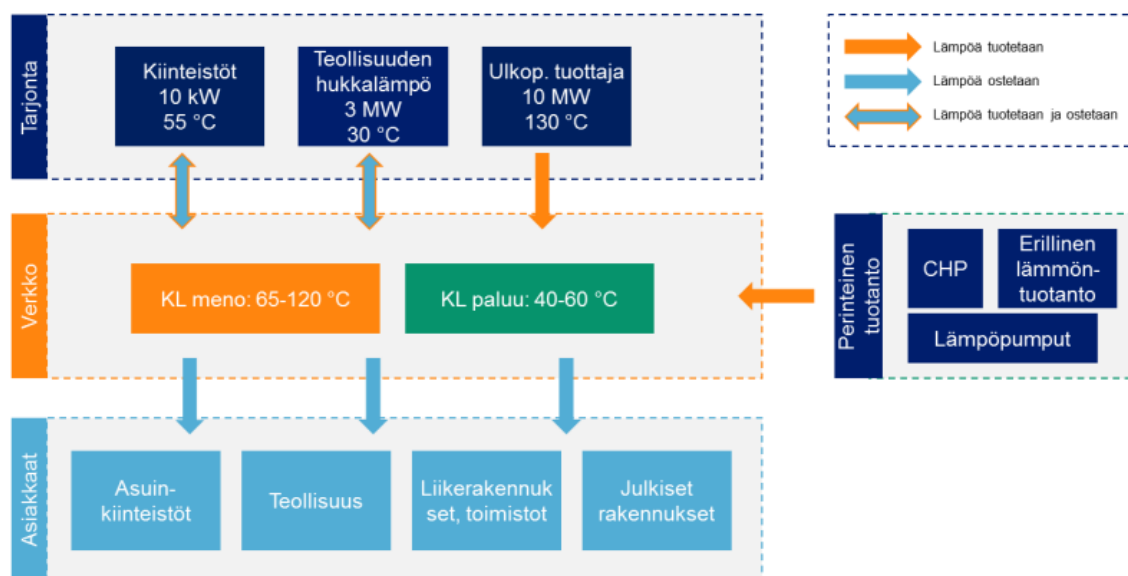
Insinööriyön tavoitteena on löytää mahdollisia ratkaisuja uusiutuvien energianlähteiden varsinkin lämmönvaihtimen ja lämpöpumpun yhdistämiseksi kiinteistöjen lämmön ja jäähdytyksen järjestelmiä, sekä potentiaalia yhdistää nämä järjestelmät suoraan kaukolämpöverkkoon.

Nykyisellä perinteisellä kaukolämpötekniikalla ei voida yhdistää asiakaslaitteita, varsinkaan pienempiä energiantuottajia kaukolämpöverkkoon. Seuraavassa luvussa käydään läpi kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon, matalalämpöverkon ja hybridijärjestelmien mahdollisuuksia ja tekniikoita, jotta tulevaisuuden hajautettu energiantuotanto olisi mahdollista.

### 8.1 Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko

Perinteisesti kaukolämpöverkon asiakkaat ovat olleet ainoastaan lämmön ostajia, eli verkon omistaja on myynyt tuottamansa lämmön. Poikkeuksena voidaan pitää suuria teollisuuslaitoksia, joista verkon omistaja on voinut ostaa laitoksen hukkaan menevää lämpöä.

Kaksisuuntaista kaukolämpöä voidaan pitää asiakastuottajamallina. Siinä asiakas voi ostaa kaukolämpöverkon tuottamaa tai ostamaa lämpöä, sekä myydä omaa ylijäämälämpöä tai lämmöntuotantoaan kaukolämpöverkkoon. Esimerkkinä lämpökaupan kaksisuuntaisuuteen voidaan Euroopan unionin sähkökauppaa, joka on vapautunut kilpailulle ja jolloin verkon omistajien tehtävä on vastata verkkonsa ylläpidosta. Kuten sähköverkon kanssa toimitaan, kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon erillinen tuottaja voisi myydä lämpönsä suoraan toiselle asiakkaalle tai kaukolämpöverkkoon ja verkon omistaja laskuttaisi tätä ainoastaan lämmön siirtämisestä. Lämpöverkkoyhtiöiden on kuitenkin kehitettävä säännöt ja mallit, joilla sitoudutaan lämpökauppaan ja kaksisuuntainen kaukolämpö mahdollistetaan. Kuvassa 5 on esitetty kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon periaatekuva esimerkkituottajineen. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:56.)



Kuva 5. Kaksisuuntaisen kaukolämmön periaatekuva ja esimerkkituottajia. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit)

Suomessa ja varsinkin Helsingissä kaukolämmöntuotanto perustuu suurimmaksi osaksi fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen polttamiseen. Pariisin ilmastositomus ja hiili-neutraali Helsinki 2035-tavoite ajavat lämmöntuotannon muutosta ilmastoystävällisem-pään suuntaan, ja esimerkiksi Helen irtautuu kivihiilen polttamisesta lämmöntuotannossa kokonaan vuoteen 2029 mennessä. Kivihiili jättää kuitenkin miltei 60 %:n aukon yhtiön kaukolämmöntuotantoon (Eskonen). Bioenergian määrä ei voi kasvaa merkittävästi tu-levaisuudessa, sillä biomassan saatavuus on rajallista ja uusiutuvat energialähteet kuten tuuli ja aurinko, eivät tule yksin riittämään kaukolämmön kattamiseen. (Lämpömarkkinat mullistuvat.)

Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon hajautettu lämmöntuotanto pienentäisi hiilidioksidi-päästöjä korvaten mahdollisesti suurempia päästöjä aiheuttavia kaukolämmöntuotanto-muotoja. Tällä tavalla kaukolämpötuotantoyhtiöt voisivat parantaa kaukolämmön van-hahtavaa mainetta saastuttavana tuotantomuotona, pienentäen samalla sen ympäristö-vaikutuksia ja parantamalla taloudellisuutta.

Euroopan unionin antaman uusiutuviin energian lähteisiin kuuluvan direktiivin 2009/28/EY mukaan verkon haltija ei saa kieltäytyä hukkalämmön ja uusiutuvan energian pääsystä kaukolämpö- ja kaukokylmäverkkoon. Kieltäytyminen olisi hyväksyttävää ainoastaan verkon kapasiteetin ollessa täynnä. Tämä varmistaisi uusiutuvien energialähteiden ja hukkalämpöjen pääsyn lämpöverkkoihin EU:n jäsenvaltioissa. (Euroopan Unioni, 2016)

#### 8.1.1 Kiinteistöt asiakastuottajina

Mahdollisten asiakastuottajina toimivien kiinteistöjen joukkoon lasketaan hyvin erilaisia ja erikokoisia asiakkaita, joista mielenkiintoisimmaksi voidaan laskea suuria ylijäämälämpöjä tuottavat datakeskukset. Kiinnostusta kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon liittymisestä voi lisätä kiinteistön omat energiatehokkuustavoitteet ja niiden tuomat säästöt. Yksityisille kiinteistön omistajille helpotusta verkkoon liittymiselle voitaisiin tarjota uudella palvelumallilla, jossa verkon omistama kaukolämpöyhtiö tai jokin toinen osapuoli tarjoaa resurssejaan ja tietotaitoaan kiinteistön yhdistämiselle kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon. Kiinteistöjen lämmöntuoton ennustettavuus on melko helppoa, sillä niiden lämmönkulutus kulkee käsi kädessä ulkoilman lämpötilojen kanssa. Tämä helpottaa kiinteistöjen liittämistä kaukolämpöverkkoon. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:11.)

Kiinteistöt voivat tuottaa lämpöä hyvin erilaisilla ratkaisuilla. Mahdollisesti toimivin ratkaisu on lämpöpumput, jotka voivat käyttää hyväkseen maahan tai vesistöihin sitoutunutta lämpöenergiaa. Niiden avulla voidaan tuottaa lämpöenergiaa vuoden kylmimpiä kuukausia lukuun ottamatta, ja tällöin lämmitys tapahtuisi perinteisellä kaukolämmöllä. Useimmiten lämpöpumppujärjestelmät mitoitetaan kattamaan jokin tietty osuus vuositaisesta lämmitysenergian hankinnasta. Lämpöenergiaa saadaan käytettyä hyväksi myös kiinteistöjen jäähdytyksen avulla. Ilmastointilaite poistaa ylimääräisen lämmön sisäilmasta, jolloin se voidaan käyttää kaukolämpöverkossa. Kiinteistöt voisivat saada tällaisissa tilanteissa esimerkiksi edullista kaukojäähdytystä, mutta ei korvausta tuotettavasta lämpöenergiasta. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:11.)



### 8.1.2 Teollisuuslaitokset asiakastuottajina

Teollisuuden tärkein näkökulma on sen tuotantovarmuus eli häiriöttömyys sekä taloudellinen tehokkuus. Laitoksien tuotantoprosesseissa syntyy usein hyvin paljon hukka- ja sivuenergiavirtoja, joita on jo nykypäivänä alettu hyödyntämään esimerkiksi laitosten omassa prosessissa. Teollisuuden tuotanto on usein hyvin tasaista ja siten sen tuottamat energiavirrat on ennakoitavissa, mikä lisää sen kiinnostusta kaksisuuntaisessa kaukolämpöverkossa. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:12.)

Teollisuuslaitokset ja yritykset pyrkivät aina kustannustehokkaimpaan lopputulokseen. Tuotannon energiatehokkuutta voidaan parantaa käyttämällä sen hukka- ja sivuenergiavirtojen energiaa omassa prosessissa tai ottamalla sitä talteen esimerkiksi lämpöpumpputjärjestelmällä. Tämä hukkaan menevä energia saataisiin syötettyä kaukolämpöverkoon, joista sen tuottaja saisi korvauksen. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:12.)

### 8.1.3 Käynnissä olevat hankkeet

Ruotsissa, varsinkin Tukholman alueella hukkalämpöä ja uusiutuvia energianlähteitä käytetään kaukolämmöntuotannossa laajasti. Tukholmassa toimiva kaukolämpöyhtiö Fortum Värme on lähtenyt kehittämään kaksisuuntaista kaukolämpömarkkinaa, jota kutsutaan termillä Öppen Fjärrvärme (avoin kaukolämpö). Nimestä huolimatta kaukolämmöntuotanto ei ole kaikille halukkaille avoin, vaan rajoittuu kolmansien osapuolien lämmöntuotannon verkkoon. Yrityksillä on kuitenkin mahdollisuus hukka- ja ylijäämälämmön myyntiin paikalliselle kaukolämpöverkolle. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:13.)

Kaukolämpöverkolle lämpöä myyville yrityksille tehdään joko spot- tai jatkuvan kapasiteetin sopimuksia. Spot-sopimuksella lämmön tuottaja toimittaa lämpöä omien olosuhteiden perusteella, eikä erityisiä kapasiteettivaatimuksia ole. Spot-sopimukset on kuitenkin jaoteltu kolmeen eri tuotteeseen: Prima, Mix ja Return. Primassa ulkolämpötila määrittää myytävän lämmön lämpötilan, joka vaihtelee 68–103°C. Mixissä myytävän lämmön lämpötila pysyy vaaditussa 68 °C:ssa ympäri vuoden ja Return, joka myy paluuvirtaan vähintään 3 °C kaukolämpöverkon paluuvettä korkeampaa lämpötilaa. Jatkuvaan

kapasiteettikauppaan sopii tasaisesti lämpöä tuottava, esimerkiksi datakeskus. Fortumin verkkosivuilla julkaistaan seuraavan päivän lämpötoimitusten hinta ja lämpövaatimukset kello 16.00, ja nämä perustuvat seuraavan päivän lämpötilaennusteisiin. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:14.)

Turun Skanssiin rakennettavalle uudelle asuinalueelle on suunniteltu kaksisuuntaista, matalalämpötilaista kaukolämpöverkkoa. Se mahdollistaisi uusiutuvien energianlähteiden käytön lämmön tuotannossa ja pientuotannossa syntyvän lämmön myymisen alueelliseen matalalämpöverkkoon. Lämmöntoimitus varmistettaisiin liittämällä matalalämpöverkko lämmönvaihtimella nykyiseen kaukolämpöverkkoon. Lisäksi kaukolämpöverkko-yhtiöt esimerkiksi Fortum pyrkivät laajentamaan toimintaansa ja ostamaan lämpöä kulluttajilta, kuten toimistoista, teollisuudesta ja taloyhtiöistä. (Skanssin uudenlaiset energiaratkaisut.)

## 8.2 Matalalämpöverkko

Tulevaisuuden neljännen sukupolven kaukolämpöverkoilla on yksi oleellinen muutos edellisiin sukupolviin verrattuna. Matalalämpöverkoissa kaukolämmön menolämpötiloja pudotettaisiin alle 75 °C:n, nykyisten kaukolämpöverkkojen menolämpötilojen ollessa noin 75–115 °C vuodenajan mukaan. Alemmilla kaukolämmön menolämpötiloilla saadaan huomattavia etuja aiempiin sukupolviin verrattuna. Kaukolämpöveden ja ulkolämpötilan lämpötilaeron pienentyessä kaukolämpöverkon lämpöhäviöt pienenevät, kaukolämpölaitosten hyötysuhteet paranevat sekä uusien tuotantomuotojen mahdollinen pääsy verkon toimintaan. Varsinkin CHP-tuotannossa hyötysuhteiden paraneminen olisi huomattavaa, sillä lämpötilan alentamisen takia tuotannossa käytettävä höyry saataisiin paisutettua aikaisempaa matalampaan paineeseen tuottaen enemmän sähköä. Matalien menolämpötilojen seurauksena myös uudet tuotantomuodot saataisiin paremmin hyödynnettyä lämmöntuotantoon. Esimerkiksi lämpöpumppujen avulla hukka- tai maaperän lämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää tehokkaasti matalalämpöverkossa. (Hynynen,2018:28.)

Neljännen sukupolven kaukolämpöverkon matalammat lämpötilat mahdollistavat kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon ja seuraavassa luvussa esitettyjen hybridijärjestelmien liittämisen verkon toimintaan. Lämpötilojen laskemisella saataisiin myös laskettua

verkon rakentamiskustannuksia, sillä pystyttäisiin hyödyntämään muovista valmistettavia putkia. Muovin lämmöneristysominaisuudet ovat myös huomattavasti paremmat kuin nykyisesti käytössä olevan teräksen, mikä myös parantaisi lämpöhäviöiden määrää.

#### 8.2.1 Tekniset vaatimukset

Neljännän sukupolven kaukolämpöverkko tuo teknisiä muutoksia asiakkaiden lämpöverkkoon liittäviin asiakaslaitteisiin, sekä kaukolämpöverkkoon. Matalampien lämpötilojen takia lämpöverkon virtauksen määrää on kasvatettava, jotta asiakkaiden vaatimiin lämpötehoihin päästäisiin. Virtausmäärien kasvaminen asiakaslaitteissa vaatii siis pumpaustehon nostamista, joka taas kasvattaa verkon pumppaushäviötä. Asiakaslaitteiden on kyettävä toimimaan nykyistä alemmissa lämpötiloissa. (Hynynen, 2018:29–30.)

#### 8.2.2 Asiakslaitteet

Nykyisissä uudiskohteissa ja uusilla asunalueilla lämmitysverkoston lämpötilatasot mitoitetaan jo ensisijaisesti nykyistä matalampaan lämpötilatasoon, jolloin matalalämpöverkkojen toteuttaminen on helppoa. Kaukolämpöverkkoon liitettävän uudiskohteen mitoitukselliset eli meno- ja paluuvien lämpötilat on ohjeistettu Kaukolämpöohje K1 2013:ssa. (Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	PALUU	MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattori-lämmitys - suositus	115	33 (max)	30 (max)	45 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattori-lämmitys - poikkeustapaukset	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	35 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	30 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

Kuva 6. Lämmönsiirtimien mitoitustilapöytä. (Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013)

Matalalämpöisellä kaukolämpöverkolla on oltava samanlainen toimintavarmuus ja teho kuin nykyisellä kaukolämpöverkolla. Tämä tuo ongelmia vanhojen kiinteistöjen ja asiakaslaitteiden kanssa, joiden lämmityspiirin mitoitustilaksi on asetettu 70 °C tai yli. Matalalämpöverkkojen toteutus vanhoille asutusalueille voi olla haasteellista, sillä asiakaslaitteisiin ja verkkoon tehtävien pakollisten muutosten investointikustannukset voivat nousta liian suuriksi saavutettaviin hyötyihin nähden. Nykyisten asiakaslaitteiden paremmalla säädöllä voitaisiin parantaa niiden hyötysuhdetta, jolloin kaukolämpöverkon paluulämpötila laskisi. Tehokapasiteetin kasvamisen vuoksi myös kaukolämpöverkon menolämpötilaa pystyttäisiin laskemaan. (Hynynen,2018:31.)

### 8.2.3 Lämpöverkko

Kaukolämpöverkon menolämpötilojen lasku vaikuttaa suoraan sen tilavuusvirtaan. Asiakaslaitteiden pyrkiessä pitämään yllä samaa lämpötehoa kuin ennen lämpötilan pudotusta, laitteet joutuvat käyttämään suuremman vesimassan päästäkseen haluttuun lämpötilaan. Virtauksen nostaminen putkistoissa nostaa myös painehäviöiden määrää, jotka

on kompensoitava kasvattamalla kaukolämpöveden pumppaustehoa. Lisäksi kaksisuuntainen kaukolämpöverkko vaatii uusien lisämittausten asentamista ja niiden jatkuvaa seuranta. (Hynynen,2018:30.)

### 8.3 Hybridijärjestelmä

Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan kahden tai useamman energialähteen yhdistämistä kiinteistöjen tai teollisuusprosessin lämmön, jäähdytyksen tai käyttöveden tuottamiseen. Järjestelmän etu on mukautuminen vallitseviin olosuhteisiin. Vuorokauden tai vuoden ajan mukaan voidaan hyödyntää tietyn ajanhetken kustannustehokkainta energianlähdettä tai käyttää monia yhtäaikaisesti toiminnassa. Viisaasti valittu hybridijärjestelmä mahdollistaisi käyttökustannuksia ja parantaisi omavaraisuusastetta. Nykypäivää ja tulevaisuutta ajatellen optimaalisin hybridijärjestelmä olisi yhdistelmä uusiutuvia energianlähteitä. (Voutilainen,2016:19.)

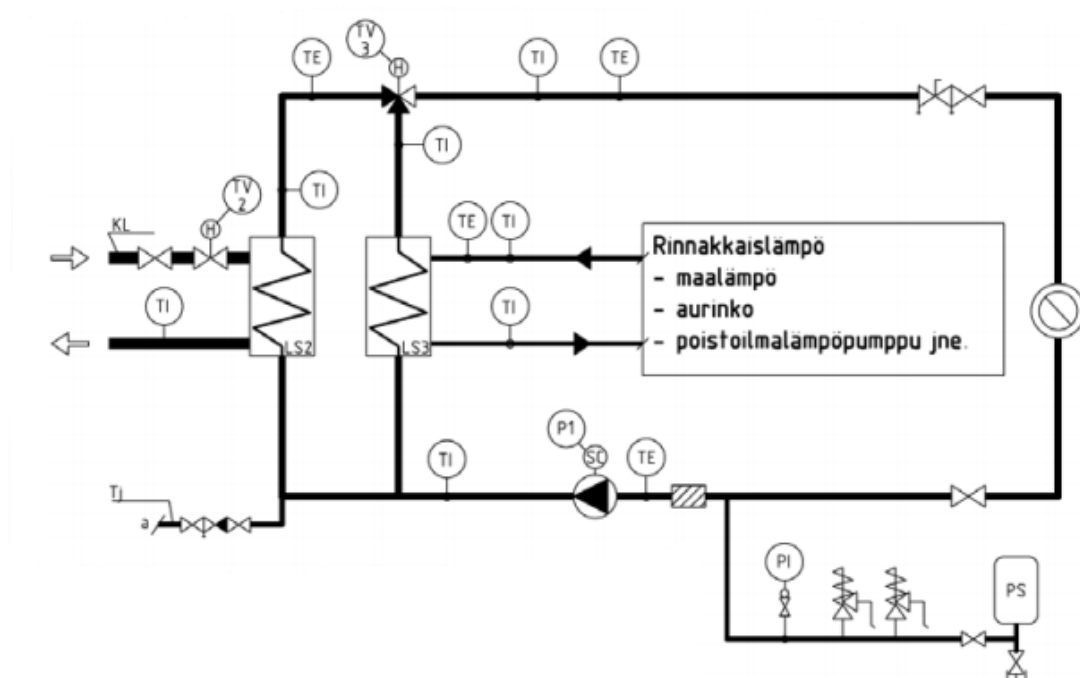
Hybridijärjestelmien suurimmat ongelmat ovat niiden monimutkaisuus. Kytettäessä monia eri energialähteitä yhteen järjestelmästä tulee usein monimutkaisia sisältäen paljon erilaisia komponentteja. Monimutkaisuuden takia järjestelmien suunnittelu, hankinta, asennus ja kunnossapito ovat usein kalliita. Lisäksi järjestelmien säätö optimaaliseksi on hankalaa. Tämä lisää järjestelmien takaisinmaksuaikaa ja laskee investoinnin kannattavuutta. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit:22.)

#### 8.3.1 Määräykset ja ohjeet

Energiateollisuuden julkaisussa K1/2013 rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet on selitetty periaatteellisesti, miten kaukolämmityksen rinnalle kytketään rinnakkaislämmönlähde. Kytettäessä huomioon on otettava ja noudatettava edellä mainittua julkaisua, Suomen rakentamismääräyskokoelma D1, sosiaali- ja terveysministeriön opasta 2003:1 asumisterveysohje sekä kaukolämpömyyjän antamia ohjeita. Kaukolämmityksen rinnalle kytkettävä lämmönlähde ei saa heikentää kaukolämpöveden jäähtyvyyttä tai asiakkaan lämmityksen toimintavarmuutta. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle.)

### 8.3.2 Järjestelmän liittäminen kiinteistön lämmityspuoleen

Riittävän toimintavarmuuden saavuttamiseksi, kiinteistön päälämmitysmuodon on katettava lämmitysteho sataprosenttisesti mitoitusulkolämpötilassa. Mitoituslämpötilat vaihtelevat maantieteellisen sijainnin perusteella ja ne on määritetty Suomen rakentamismääräyskokoelma D1:ssä. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla mitoitetaan toimintavarmuuden takia mitoitusulkolämpötila  $-26^{\circ}\text{C}$  vastaavalle täydelle teholle. Hybridijärjestelmissä tapahtuvien suurien kaukolämpötehon vaihteluiden takia lämmönsiirtimet varustetaan vähintään kahdella säätöventtiilillä, jotta optimaalinen säätö saadaan saavutettua erilaisissa kuormitustilanteissa. Hybridijärjestelmä tulee aina kytkeä rinnankytkennällä kaukolämpölaitteistoon, siten ettei lämmitysverkoston paluuvettä lämmitetä ennen virtausta kaukolämpösiirtimelle. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle.)

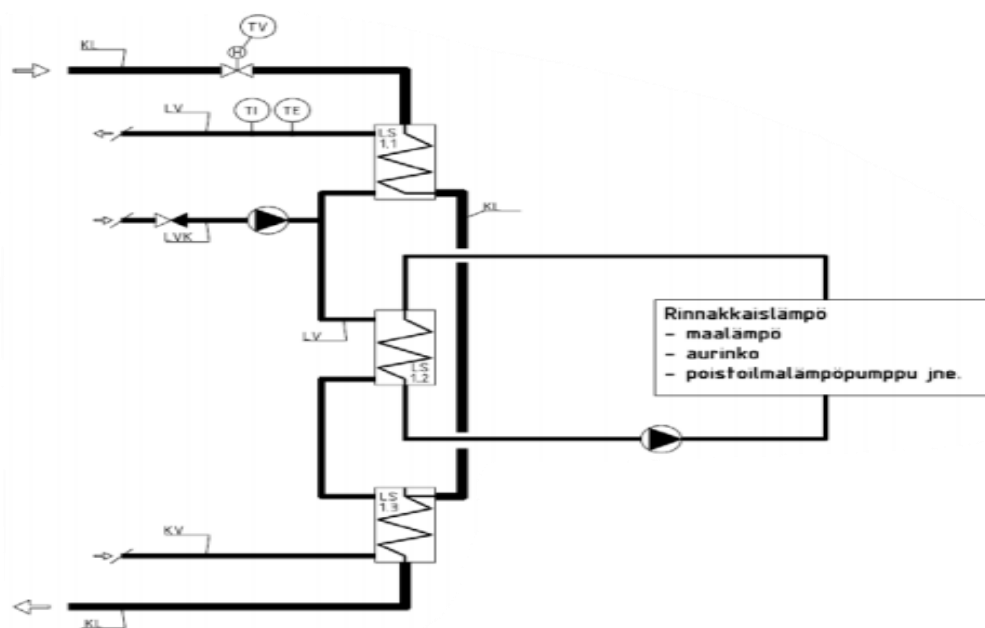


Kuva 7. Rinnakkaislämmön kytkeä tilojen lämmitykseen. (Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013)

Kuvassa 7 on esitetty esimerkki kytkentä rakennuksen lämmittämiseen. Kiinteistökohtainen lämmitystehontarve katetaan ensisijaisesti lämmönsiirrin LS3:lla, johon tuodaan lämpöä rinnakkaislämmönlähteestä. Insinööriyössä tämä lämmönlähde on lämpöpumppu, joka käyttää lämmönlähteenä meriveden lämpöä. Jos LS3:lla ei pystytä tuottamaan tarpeeksi suurta lämpötilaa lämmitysverkkoon, katetaan tämä lämmöntarve kaukolämpöverkostoon kytketyllä lämmönsiirrin LS2:lla. Rinnakkaislämmön tuottaman lämmönsiirtimen mitoituksessa ja säätölaitteistossa on huomioitava, että lämmönsiirtimeltä tulevan kylmän veden lämpötila on tarvittaessa nostettava kaukolämpösiirtimen menovedellä, jotta päästään lämmitysverkon säätökäyrän mukaiseen lämpötilaan. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle.)

### 8.3.3 Järjestelmän liittäminen kiinteistön käyttövesipuoleen

Hybridijärjestelmässä myös käyttöveden kaukolämpösiirtimet tulee mitoittaa siten, että ne kattavat lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman mukaisen täyden tehon. Kuvassa 8 käyttöveden kaukolämmönsiirtimet LS1.1 ja LS1.3 on mitoitettu molemmat 50 %:iin mitoitusvirtaaman tehosta. Kyseisessä periaatteellisessa kytkennässä on myös huomioitava, että LS1.3 syöttöön tulevan kylmän käyttöveden tulee jäähdyttää kaukolämpövesi 20 °C:seen käyttöveden lämpötilan ollessa 10 °C, eli LS1.3 toimii esilämmittimenä kylmän käyttöveden lämmityksessä. Myös käyttövesipuoli järjestelmän kuormitus on vaihtelevaa ja siten on lämmönsiirtimet varustettava kahdella säätöventtiilillä. Rinnakkaislämmönlähde ei saa toimia lämpimän käyttöveden esilämmitysosana lämmityslaitteistossa. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle.)



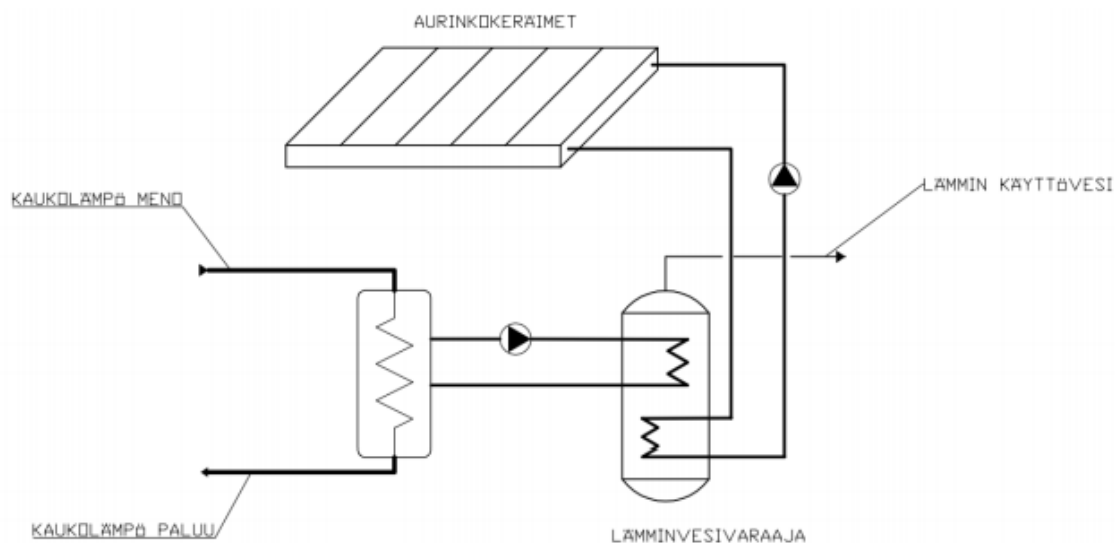
Kuva 8. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013)

TE lämpötila-anturin mittausarvon perusteella ohjataan rinnakkaislämpölaitteiston säätölaitteistoa, säätökeskukseen asetetun arvon mukaisesti. Legionella bakteeri vaaran takia ohjearvona lämpimään käyttöveteen pidetään 58 °C:ta. Jos rinnakkaislämpölaitteisto ei pysty tuottamaan asetusarvon tuottamaa lämpötilaa, käyttöveden lämpötila-anturi TE ohjaa kaukolämmön säätökeskus TV säätöventtiiliä, joka pitää käyttöveden lämpötilan säätökeskukseen asetetun arvon mukaisena. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle.)

#### 8.3.4 Varaaja

Kiinteistön lämpimän käyttöveden toimintavarmuutta ja tehoa voidaan lisätä erillisellä varaajalla, johon on kytketty sekä kaukolämmitys, että rinnakkaislämmönlähde. Aurinkokennien ollessa rinnakkaislämmönlähteenä, ehkäistään lämmön hukkaan menemistä, mikä on erinomainen vaihtoehto. Kuvassa 9 on yksinkertainen järjestelmä, jolla varaaja voidaan kytkeä järjestelmän osaksi. (Voutilainen, 2016:22–23.)

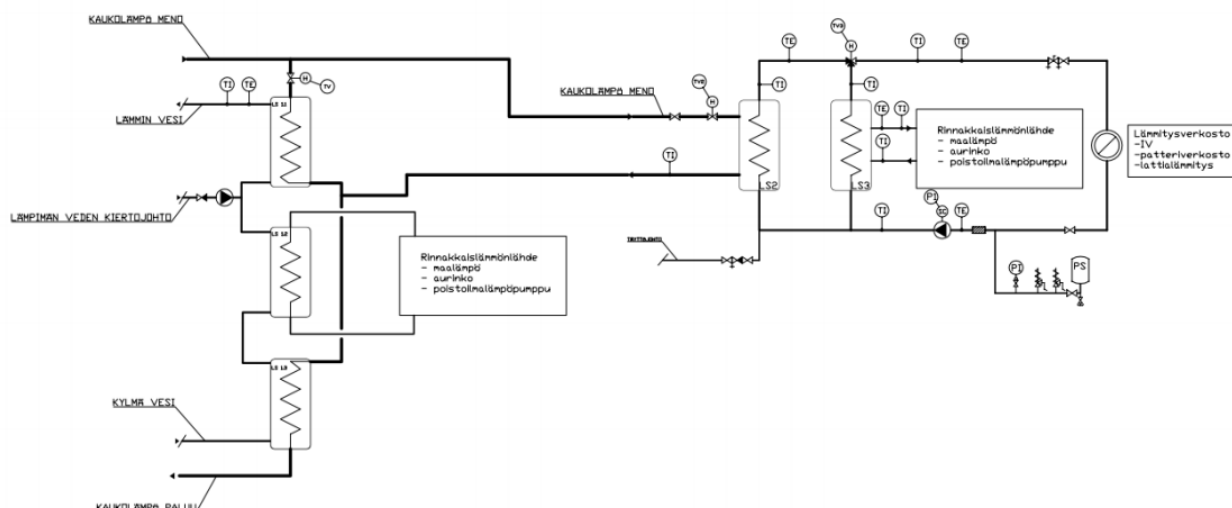




Kuva 9. Kaukolämpö-aurinkokeräin hybridikytKentä varaajalla. (Voutilainen)

### 8.3.5 Koko järjestelmä

Kuvassa 10 lämmitys- ja käyttövesijärjestelmät on kytketty yhdeksi järjestelmäksi. Rakennuksissa, missä ilmanvaihto- ja lämmityssiirtimien kaukolämmön paluulämpötila on hyödynnettävissä käyttöveden lämmityksessä, käytetään välisyöttökytkentää. Se on käytössä käyttövesitehon ollessa yli 120 kW ja ilmanvaihto- ja/tai lämmityssiirtimeltä palaava vesi ylittää 45 °C. Sitä käytetään myös käyttövesisiirtimen tehon ollessa 300 kW tai yli vaikka kaukolämpöveden lämpötila jäisi 40–45 °C:een. (Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013:29–30.)



Kuva 10. Koko järjestelmän kytkentä. (Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle)

## 9 Pilottihanke

Insinööritöiden tavoitteena oli selvittää meriveden lämpöenergian hyödyntäminen kelluvan vesistölämmönvaihtimen avulla merikylpylä Allas Sea Poolin uima-altaiden lämmityksessä korvaamalla sen nykyinen lämmitysmuoto, kaukolämpö. Insinööritöissä käytettävä vesistölämmönvaihdin toimii järjestelmässä lämmönkeruupiirinä. Sen toiminta on samanlainen kuin perinteisen maalämpöjärjestelmän, mutta se ottaa lämpönsä veteen varastoituneesta aurinkoenergiasta, maaperän sijaan. Lämmönkeruupiirissä lämmönkeruunesteenä toimii 28-prosenttinen vesietanoliseos, jolla on alhainen jäätymispiste. Etanolipohjaiset lämmönkeruunesteet ovat turvallinen vaihtoehto, sillä niitä ei ole luokiteltu myrkylliseksi tai haitalliseksi eikä myöskään vaaralliseksi luonnolle.

Järjestelmä toteutettaisiin lähelle rantaviivaa, mikä tuo haasteita tarpeeksi lämpimän meriveden saamiselle myös talviaikaan. Tasainen 5 °C:n meriveden lämpötila olisi lämmitysjärjestelmälle optimaalinen, mutta lähimmät syvänteet, jossa lämpötilat pysyvät tarpeeksi korkealla ympärivuotisesti sijaitsevat kymmenien kilometrien päässä rannikolta. Vaihtimelle suunnitellulla paikalla veden syvyys on suunnilleen 7 metriä. Tällaisella syvyydellä lämmönvaihtimen ympärivuotinen käyttö tuo haasteita meriveden riittämättömän lämpötilan takia. Itämeren jäätymispiste vaihtelee sen suolaisuuden mukaan –0,1...

– 1°C välillä, joten lämmönvaihtimen lämmönkeruunestettä lämmittävän meriveden ulostulo lämpötila ei saa laskea alle tämän jäätymisriskin takia.

Meriveden lämpötilaa ei suunnitellulla prototyypin paikalla ole mitattu, mutta datana voidaan käyttää Helsingin kaupungin eri mittauspisteiltä saatua dataa (liite 2). Näiden tietojen perusteella meriveden lämpötila nousee riittävälle yli 2 °C suunnilleen huhtikuun puolivälissä. Syksyllä vesien lämpötilat pysyvät 7 metrin syvyydessä usein yli 2°C joulukuuhun asti. Vuosittaisia eroavaisuuksia meriveden lämpötiloissa kuitenkin tapahtuu.

## 10 Järjestelmän mitoitus

Merivesilämmönvaihtimen ja lämpöpumppujen mitoituksessa käytettiin hyväksi Salla Ruhasen (2020) insinööriyössä: Kelluvien uima-altaiden energiankulutus, tekemiä lämpötila ja virtausmittauksia. Lisäksi apuna käytettiin Ruhasen laatimia laskentamalleja merikylpylän lämmitettävien altaiden lämmönjohtumisesta rakenteiden kautta, sekä veden haihtumisen määrä säävyöhykkeen mitoittavalla lämpötilalla. (Ruhanen).

### 10.1 Lämpöpumput

Ruhasen insinööriyössä tekemien mittausten ja laskentamallien kautta päästiin lämmitettävien altaiden lämpöhäviöihin, minkä jälkeen tiedettiin lämpöpumpuista tarvittavan tehon määrä. Lämpöjärjestelmäratkaisuksi valikoitui NIBE F1345-60 maalämpöpumput, jotka on tarkoitettu käytettäväksi paljon lämpöä vaativissa, suurissa teollisuus- ja asuin-kiinteistöissä. Lämpöpumpun ominaisuudet ja soveltuvuus kohteeseen, sekä maalämpöjärjestelmiä myyvän ja asentavan Techeat- yrityksen suositukset kyseisestä lämpöpumpusta olivat valintaan vaikuttavia tekijöitä. NIBE F1345-60 maalämpöpumpun järjestelmäkuvaus ja tekniset tiedot ovat liitteessä 1.

### 10.2 Merivesilämmönvaihdin

Merivesilämmönvaihtimen mitoitus toi suurimpia haasteita työn toteutuksessa, sillä kaikkia tarvittavia tietoja lämmönvaihtimen mitoista ja teknisistä ominaisuuksista ei ollut

käytettävissä. Lämmönvaihtimen mitoituksessa käytettiin apuna lämpöpumppujen vaatimia lämmönkeruupiirin teknisiä tietoja. Näiden ja lämmönvaihtimesta saatavilla olevien tietojen perusteella päästiin mitoittamaan järjestelmään sopivaa merivesilämmönvaihdinta. Mitoituksessa jouduttiin ottamaan huomioon myös meriveden jäätymisriski. Tämän takia lämpöä luovuttavan meriveden ulostulon lämpötila halutaan pitää yli 0 °C:n, jolloin riskit jäätymisestä ja sen tuottamista ongelmista vähentyvät.

Kyseinen merivesilämmönvaihdin toimitetaan moduuleissa, joten päästäkseen suurempaan tehoon moduulien määrää kasvatetaan. Vaihtimesta haluttu tehomäärä jäi kokonaisten moduulien tehomäärän väliin, joten se jouduttiin hieman ylivoittamaan. Samoilla virtausnopeuksilla kylmissä vesissä merivesi mahdollisesti jäätyisi vaihtimen ulostulossa. Ongelma saadaan kuitenkin korjattua nostamalla meriveden virtaamaa.

Lämmönsiirtimen mitoituksessa ei otettu huomioon siirtimen merivesipuolen pinnalle mahdollisesti syntyvän biologisen likaantumisen aiheuttamaa lämmönsiirtoprosessin ja energiatehokkuuden heikkenemistä.

## 11 Yhdistäminen kiinteistön muihin järjestelmiin

Lämpöpumpuksi valitulla NIBE 1345-60:llä on valmius neljän lämmitysjärjestelmän ohjaukseen. Tämä mahdollistaisi lämpöpumpun käytön myös merivesikylpylän käyttöveden ja kiinteistön lämmityksessä. Mahdollinen merikylpylän hybridijärjestelmä olisi mahdollisesti liitteen 2 mukainen. Merivesikylpylään valmiiksi sijoitettu aurinkopaneelijärjestelmä lämmittää tällä hetkellä yhtä kylpylässä käytössä olevaa saunaa. Tämä aurinkopaneelijärjestelmä voitaisiin liittää lämmittämään käyttövettä, jolloin lämpöpumppu lämmittäisi lämminvesialtaat ja mahdollisesti kiinteistön lämmityksen. Kiinteistön hybridijärjestelmä varmistetaan kaukolämmöllä, jota käytettäisiin rinnakkaislämmönsiirtimien jäädessä vaaditusta tehosta.

Hybridijärjestelmät ovat hyvin monimutkaisia ja niiden suunnittelu, sekä järjestelmän säätö optimaaliseksi on hankalaa. Kyseisen järjestelmän luominen vaatisi uusia ja tarkempia laskelmia merikylpylän energiantarpeesta, jolloin pystyttäisiin mitoittamaan rinnakkaislämmönlähteiden tehon tarpeet.

## 12 Yhteenveto

Insinööriyössä tehdyt laskelmat lämmitettävien altain lämmitystehontarpeesta laskettiin mitoittavan ulkolämpötilan ollessa  $-26\text{ °C}$ . Nämä laskelmat ovat ainoastaan suuntaa antavia eivätkä kerro tarkkoja vuotuisia energiankäyttöjä ja laitteiden mitoitus-tehoa. Tarkempien tulosten saavuttamiseksi olisi virtaus- ja lämpötilamittaustietojen määrää saatava myös lämmityskauden kylmimmältä ajalta, jolloin lämpöhäviöt ovat suurimmillaan. Lisäksi merivesilämmönvaihtimen laskelmat ja mitoitus eivät ole tarkkoja teknisten tietojen vähyyden ja tarkkuuden vuoksi.

Merivesilämmönvaihtimen mitoitus on suuntaa antava ja tarkemmat laskelmat vaatisivat enemmän vaihtimen teknisistä tiedoista ja mahdollisia pilottihankkeita tai dataa käytössä olevista vaihtimista. Vaihtimen teho ja koko tulisi todellisuudessa kasvamaan lämmönsiirtopinnan likaisuuden ja sen myötä tehokkuuden laskun seurauksena. Lämmönsiirtopinnan likaisuuden vaikutuksia vesistövaihtimen tehokkuuteen ei insinööriyössä käyty läpi. Sen vaikutuksiin kuuluvat esimerkiksi meriveden suodatus- ja puhdistusmenetelmät ennen vaihdinta, lämpötilat, vallitsevat tuulensuunnat sekä vaihtimelle tehtävät puhdistus- ja huoltotoimet.

Vesistölämmönvaihtimilla on myös Suomessa suuri potentiaali toimia lämmön ja jäähdytyksen tuottajina, varsinkin tulevaisuuden neljännen sukupolven kaukolämpöverkossa. Kaukolämpöverkko ja muu suomalainen energiajärjestelmä on pyritty tuottamaan keskitetyllä tuotannolla, suurilla laitoksilla. Nykypäivä näkyy merkkejä hajautetun tuotannon kasvusta, vaikkakin sen määrä energian kokonaistuotannossa on vielä erittäin vähäistä. Energiapoliittiset päätökset ja kehittyvät tekniikat ajavat kuitenkin kohti hajautettua energiantuotantoa. Kaukolämpöverkkojen lämpötilat tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa laskemaan, mikä edesauttaa lämpöpumppujen ja vesistölämmönvaihdinten hyödyntämistä. Suomen tuhannet syvät järvet ovat potentiaalisia lämmöntuottajia niiden läheisyydessä oleville kaupungeille ja niiden ihmisille.

### 13 Lähdeluettelo

Aittomäki, Antero. Aalto, Esa. 2012. Kylmäteknikka. 4.painos. Jyväskylä: Suomen kylmäyhdistys ry.

Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2013. 2013. Verkkoaineisto. Energiatieteellisyys. Luettu 9. 9 2020

Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). 2016. Lainsäädäntöehdotus. Euroopan Unioni. Brysseli, Belgia. Luettu 10. 9 2020

Värtan Ropsten – The largest sea water heat pump facility. Verkkoaineisto. Friothers AG. <[https://www.friothers.com/wp-content/uploads/2017/11/vaertan\\_e008\\_uk.pdf](https://www.friothers.com/wp-content/uploads/2017/11/vaertan_e008_uk.pdf)>

WHCEP Mega. Geopipe Oy. Verkkoaineisto<<https://www.geopipe.fi/fi-FI/tuotteet/whcep-mega-37543954>> Luettu 9.8.2020

Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. 2015. Verkkoaineisto. Helen Oy <[https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon\\_hybridikytkenta\\_kaukolampolaitteiston\\_rinnallepdf](https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf)> Luettu 9.9.2020

Lämpömarkkinat mullistuva. 2018 Verkkoaineisto. Helen Oy <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2018/lampomarkkinat>> Luettu 10.9.2020

Merivesilämpöpumput kiinnostava mahdollisuus myös Helsingissä. 2019 Verkkoaineisto. Helen Oy <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh- taista/blogi/2019/merivesilampopumput>> Luettu 26.8.2020

Vuosaareen uusi, ainutlaatuinen meriveden lämpöä hyödyntävä lämpöpumppu. 2019. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2019/merivesilampopumppu>> Luettu 19.9.2020

Hynynen, Heikki. 2018. Menolämpötilan alentaminen kaukolämpöverkon kehitystyössä. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Luettu 15.9.2020

Junkala, Mika. 2009. Maalämpöpumppulämmitys IKEA- tavarataloissa. Insinööriyö. Tampere Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Keith, Herold. Sanford, Klein. Radermacher, Reinhard . 2016. Absorption chillers and heat pumps. CRC Press.

Langley, Billy. 2001. Heat pump systems. Third edition. Prentice Hall.

Magesh, R. 2010. Verkkoaineisto. OTEC Technology- A World of Clean Energy. <[http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010\\_pp1618-1623.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010_pp1618-1623.pdf)> Luettu 9.10.2020

Ocean thermal energy conversion. Makai Ocean Engineering. Verkkoaineisto <<https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/>> Luettu 3.10.2020

Energiatehokas lämmönsiirto. Verkkoaineisto. Motiva <[https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas\\_lammonsiirto\\_opas.pdf](https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf)> Luettu 16.9.2020

Näin lämpöpumppu toimii. Lämpöä ilmassa. Verkkoaineisto. Motiva <<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>> Luettu 18.9.2020

Uusiutuva energia. Verkkoaineisto. Motiva <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia)> Luettu 28.8.2020

Pöyry Management Consulting Oy. (2016). Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. 2016. Verkkoaineisto. Pöyry Management Consulting Oy. <[https://media.sitra.fi/2017/02/27175247/Kaksisuuntaisen\\_kaukolammon\\_liiketoimintamallit-2.pdf](https://media.sitra.fi/2017/02/27175247/Kaksisuuntaisen_kaukolammon_liiketoimintamallit-2.pdf)> Luettu 12.10.2020

Ruhanen, Salla. 2020. Kelluvien uima-altaiden energiankulutus. Insinöörityö. Theseus-tietokanta.

Seppälä, Tanja. 2008. Entropia käsitteenä ja ilmiönä. Insinöörityö Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Sinivuori, Mika. 2016. Erityyppisten lämmönsiirtimien mitoitusapaukset. Insinöörityö. Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta

District heating from seawater, Drammen. 2019. Verkkojulkaisu. SITRA. <<https://www.sitra.fi/en/cases/district-heating-from-seawater-drammen/>> Luettu 25.8.2020

Itämeri - ympäristö ja ekologia. 2014. Verkkojulkaisu. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <[https://www.syke.fi/fi/FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri\\_\\_ymparisto\\_ja\\_ekologia\\_tietopake\(28801\)](https://www.syke.fi/fi/FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri__ymparisto_ja_ekologia_tietopake(28801))> Luettu 1. 10 2020

Tiinanen, Valtteri. 2017. Lämmönsiirtimen likaantumisen seuranta. Insinöörityö Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Skanssin uudenlaiset energiaratkaisut. Verkkojulkaisu. Turun kaupunki. <<https://www.turku.fi/skanssin-uudenlaiset-energiaratkaisut>> Luettu 1.10.2020

Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. 2016 Loppuraportti. Valor Partners Oy <[https://energia.fi/files/993/Suuret\\_lampopumput\\_kaukolampojarjestelmassa\\_Loppuraportti\\_290816\\_paivitetty.pdf](https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf)> Luettu 16.10.2020

Voutilainen, Sakari. 2016. Hybridikytkentä kaukolämpöverkossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/133653/Kandidaatintyo\\_voutilainen\\_sakari.pdf?sequence=>](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/133653/Kandidaatintyo_voutilainen_sakari.pdf?sequence=>)

Eskonen, Hanna. 2018. Helsingillä on mahdoton tehtävä: Pitäisi korvata miljoona tonnia kivihiiltä vaihtoehtoilla, joita ei ole edes olemassa. Verkkoaineisto. Helsinki. <<https://yle.fi/uutiset/3-10484921>> Luettu 10.9.2020



## Tekniset tiedot

## NIBE™ F1345

Tyyppi		NIBE F1345-24	NIBE F1345-30	NIBE F1345-40	NIBE F1345-60
Outolehto* (l/s @ 0/W 35)	(kW)	2 x 2,52	2 x 3,5	2 x 4,44	2 x 7,05
Lämmitystehtiö* (l/s @ 0/W 35)	(kW)	22,5 (2 x 11,3)	30,7 (2 x 15,4)	40,0 (2 x 20,0)	57,7 (2 x 28,8)
COP* kun B0/W35 14511		4,42	4,36	4,51	4,10
Jännite		400 V (3 V+0)			
Kylmäaine		R407C	R407C	R407C	R410A
Kylmäaineen määrä	(kg)	2 x 2,2	2 x 2,3	2 x 2,4	2 x 2,4
Lämmityksen enimmäislämpötila	(°C)	65/58	65/58	65/58	65/58
Korkeus (ilman säätösäikkejä 30-50mm)	(mm)	1800	1800	1800	1800
Leveys	(mm)	600	600	600	600
Syvyys	(mm)	620	620	620	620
Nettopaino	(kg)	325	335	352	353

\* Standardin EN 14511 mukaan talolämpötilalla 0° C / käyttövesilämpötilalla 35° C.

Kiertovesipumppujen syöttö sisältyy.

## Järjestelmän kuvaus

F1345 koostuu kahdesta lämpöpumpputyöstöstä ja näyttöllä varustetusta keskusyksiköstä, joka ohjaa lämpöpumppua ja mahdollista lisälämmitystä. NIBE F1345:ssä on sisäänrakennetut kiertovesipumput\*, mikä helpottaa kytkentää lämmitys- ja lämmönkeruupireihin. Energia otetaan talteen lämmönlähteestä suljetulla keruujärjestelmällä, jossa kiertää veden ja pakkasnesteen seos. Lämmönlähde voi olla kallio, maaperä, järvi, poistoilma tai muu prosessilämmitys.

Lämmönlähteenä voi käyttää myös pohjavettä. Tämä vaatii välilämmönvaihtimen. Keruuliuos luovuttaa lämpönsä kylmäaineeseen lämpöpumpun höyryntiessä. Sitten kylmäaine höyrystyy ja puristetaan kokoon kompressorissa. Lämmennyt kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa energiansa lämmityspiiriin.

\* 40 - 60 kW ulkoisella lämmönkeruupumpulla.

