



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Anna Rämetsä

# Teollisuuslämpöpumput energiantuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

10.1.2021

Tekijä Otsikko	Anna Rämet Teollisuuslämpöpumput energiantuotannossa
Sivumäärä Aika	27 sivua 10.01.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat	lehtori Tomi Hämäläinen liiketoimintajohtaja Martti Kukkola
<p>Insinööriyön tarkoitus oli tarkastella lämpöpumppujen perusteita sekä valita lämpöpumppujärjestelmä asiakaskohteeseen ja osoittaa tämän tuomat hyödyt asiakkaalle. Työssä tarkasteltiin lämpöpumppujen toimintaa ja rakennetta. Työn lopussa arvioitiin myös lämpöpumppujen elinkaaren aikana syntyvät kustannukset karkeasti.</p> <p>Asiakkaan antamien tietojen pohjalta tehtiin lämpöpumppujen valinta Oilon Selection Tool -valintaohjelman avulla. Tämän tiedon perusteella tehtiin arvio investointikustannuksista ja laskettiin lämpöpumpulle takaisinmaksuaika Excel-taulukon avulla.</p> <p>Lopputuloksena alustavan ja karkean selvityksen perusteella todettiin, että lämpöpumppujärjestelmäninvestointi on asiakkaalle hyödyllinen ja kannattava sijoitus. Energiansäästön perustuvia säästöjä kertyisi 407 000 € vuodessa. Työssä selvisi, että lämpöpumppujärjestelmäninvestointi maksaisi karkean arvion mukaan itsensä takaisin 2,3 vuodessa. Laskennassa ei huomioitu huolto- ja käyttökustannuksia. Oheisjärjestelmän investointikustannus perustui karkeaan arvioon. Investointi vähentäisi primäärienergian tarvetta sekä CO<sub>2</sub>-päästöjä, joilla olisi entistä ratkaisevampi vaikutus yrityksen imagoon sekä laajemmassa kuvassa ilmastonmuutoksen torjumiseen.</p>	
Avainsanat	teollisuuslämpöpumppu, energiatehokkuus

Author Title	Anna Rämät Industrial heat pumps for energy production
Number of Pages Date	27 pages 10th January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Production Technologies
Instructors	Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer Martti Kukkola, Chief Business Officer
<p>The purpose of this thesis was to study the basics of the heat pumps, select a heat pump system for the customer and show the benefits of the heat pump system to the customer. The thesis examined the operation and structure of heat pumps. At the end of the thesis the costs incurred during the life cycle of heat pumps were also roughly estimated.</p> <p>Based on the information provided by the customer, the heat pumps were selected using the Oilon Selection Tool. Based on this information, an estimate of the investment cost was made and the payback period for the heat pump was calculated using an Excel.</p> <p>As a result, based on a preliminary and rough study, an investment in a heat pump system would be a useful and profitable investment for the customer. Savings based on energy savings would be 407,000 € per year. According to a rough estimate, the investment in the heat pump system would pay for itself in 2,3 years. Maintenance and operating costs have not been considered in the calculations. The investment cost of the ancillary system is based on a rough estimate. The investment would reduce the need for primary energy and reduce CO2 emissions, which will have an even more decisive impact on the company's image and, more broadly, on combating climate change.</p>	
Keywords	industrial heat pump, energy efficiency

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Oilon Oy	2
3	Teollisuuslämpöpumput	3
3.1	Kylmätekniinen kiertoprosessi	3
3.1.1	Komponentit	4
3.1.2	Kylmäaineet	9
3.1.3	Sovellusalueet	10
3.1.4	COP-arvon optimointi	11
3.2	Lämpöpumppujen vaikutus CO <sub>2</sub> -päästöihin	12
3.3	Oilon ChillHeat -lämpöpumput	13
3.3.1	Vaihtoehtoiset kylmäaineet	13
3.3.2	Tuotenimet	13
3.3.3	Oilon ChillHeat -lämpöpumppujen kehitys	14
3.3.4	Global Monitor	15
4	Oilon Selection Tool -valintaohjelma	15
4.1	Valintojen tekemiseen vaikuttavat asiat	16
4.1.1	Lämmönlähde ja lämmityskohde	16
4.1.2	Lämpöpumpun suorituskyky	17
4.1.3	Automaatio	17
4.1.4	Investointi- ja elinkaarikustannukset	17
4.1.5	Kylmäainevaatimukset	18
4.1.6	Asennuspaikka	18
5	Lämpöpumppuratkaisu kohteeseen	18
5.1	Valinnat Oilon Selection Tool -ohjelmistolla	19
5.2	Osatehoalueet ja käyttötunnit	21
5.3	Huoltokustannukset ja vuosittaiset kustannukset	24
5.3.1	Laskennallinen taulukko ja sen hyöty	25

5.4	Lämpöpumppuinvestoinnin hyöty kohteessa	26
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

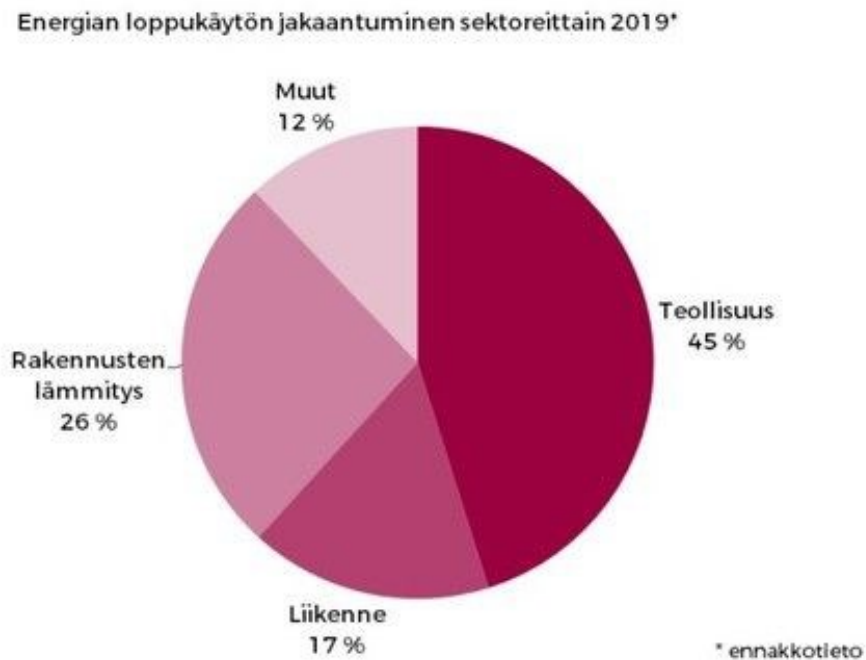
## Lyhenteet

COP	Coefficient of Performance, Lämpökerroin
GWP	Global warming potential, kylmäaineen ilmastovaikutus
HFC	Hydrofluorocarbon, fluorattu hiilivety
HFO	Hydrofluoroolefin, fluoro-olefiini
OST	Oilon Selection Tool, lämpöpumppujen valintaohjelma
ppm	part per million, miljoonasosa

## 1 Johdanto

Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut Pariisin ilmastopimukseen. EU tavoittelee hiilineutraalisuutta vuoteen 2050 mennessä. Suomi on kuitenkin asettanut omaksi tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi. [1.]

Kuvasta 1 nähdään, että vuonna 2019 energian loppukäytöstä 26 % on kulunut rakennusten lämmitykseen. Teollisuudessa syntyy erittäin paljon hukkalämpöä. Lämpöpumpujen avulla hukkalämpöä voidaan hyödyntää lämmitystarkoituksiin ja näin olla osana energiamurrosta. [2.]



Kuva 1. Energian loppukäytön jakaantuminen Suomessa [2].

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan lämpöpumppujen perusteita. Työssä valitaan lämpöpumppujärjestelmä asiakaskohteeseen ja osoitetaan tämän tuomat hyödyt asiakkaalle. Työssä arvioidaan myös lämpöpumppujen elinkaaren aikana syntyvät kustannukset. Opinnäytetyö tehdään Oilon Oy:n projektina.

## 2 Oilon Oy

Oilon Oy on energia- ja ympäristötekniikan perheyrittäjä. Se myy energiatehokasta ja ympäristöystävällistä energiantuotantotekniikkaa. Yritys on perustettu vuonna 1961. Se aloitti valmistamalla raskasöljypolttimia. Vuonna 1969 Oilon aloitti myös kiinteistöpolttimien tuotannon ja vuonna 1993 tuotteiden viennin Kiinaan. Vuonna 2002 Oilon perusti tehtaan Kiinan Wuxiin. Samana vuonna Oilon aloitti myös maalämpöpumppujen valmistuksen. Vuonna 2011 yritys laajensi toimintaansa ostaessaan lämpöpumppuvalmistaja Scancoolin. Vuonna 2013 Oilon lanseerasi ChillHeat-teollisuuslämpöpumppumalliston. Viimeisimpänä, vuonna 2019 Oilon osti lämpöpumppuvalmistaja Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy:n. [3.]

Oilonin tavoitteena on luoda puhtaampi maailma valmistamalla tehokkaita ja vähäpäästöisiä energia-, lämmitys- ja jäähdytysratkaisuja kaikkeen käyttöön. Oilonille tärkeitä arvoja ovat energiatehokkuus, päästöjen vähentäminen ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen. [4.]

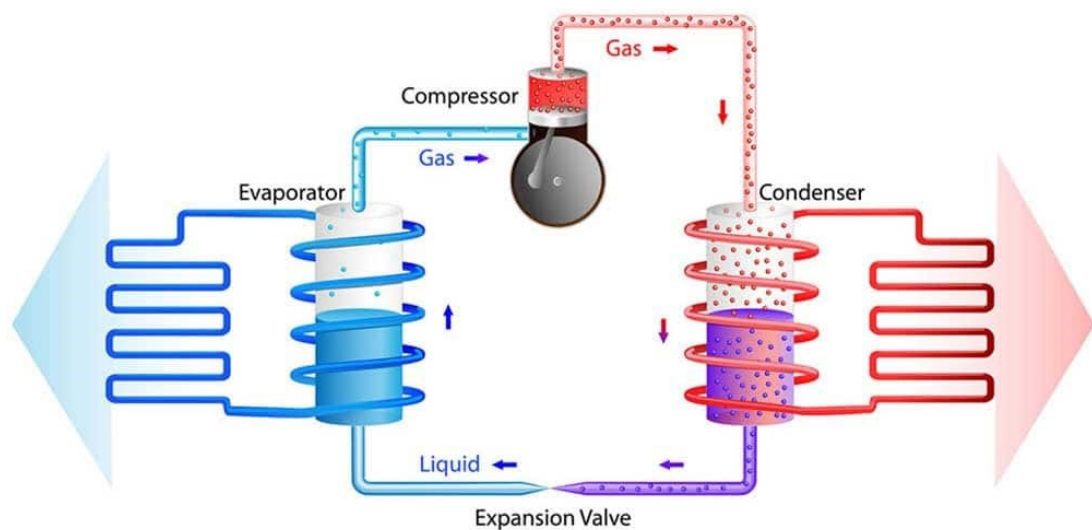
Oilonin laitteita tuotetaan kolmessa maanosassa. Oilon Oy laitteiden jälleenmyynti tapahtuu globaalisti ympäri maailmaa. Suomen tehtaat ovat Lahdessa, Lapualla ja Kokkolassa. Oilon valmistaa polttimia ja polttojärjestelmiä, teollisuuslämpöpumppuja ja vedenjäähdyttimiä ja maalämpöpumppuja. Suomessa polttimien valmistus on keskittynyt Lahteen, Lapualla valmistetaan kotitalouksiin ja kiinteistöihin soveltuvia lämpöpumppuja ja Kokkolassa teollisuuslämpöpumppuja. Oilonilla on tehtaita Suomessa, Venäjällä, Kiinassa ja Yhdysvalloissa. Oilonin tuotteita käytetään niin kotitalouksissa kuin isommissa tehtaissa ja energiantuotantolaitoksissa. [5.]



### 3 Teollisuuslämpöpumput

#### 3.1 Kylmätekninen kiertoprosessi

Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalamman lämpötilan suuntaan. Ulkoisen työn avulla lämpöä on mahdollista siirtää matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Kylmätekninen kiertoprosessi perustuu kylmäaineen olotilan muutoksiin eri painetasoilla. Kuvassa 2 nähdään kylmäteknisen prosessin toimintaperiaate. [6, s. 17.]



Kuva 2. Lämpöpumpun toimintaperiaate [7.]

Höyrystimessä matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä ja höyrystyy kokonaan. Tämän jälkeen kompressori nostaa höyrystyneen kylmäaineen paineen. Paineen nousuun vaaditun työn seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee. Lauhduttimessa kylmäaineesta poistuu lämpöä, minkä seurauksena kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteeksi. Lauhduttimen jälkeen olevassa paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee, minkä seurauksena sen olotila lähtee muuttumaan nesteestä kaasuksi. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine on kyläisessä tilassa, ja tällöin sen olomuoto voi olla samaan aikaan höyryä ja nestettä. [6, s. 18.]

### 3.1.1 Komponentit

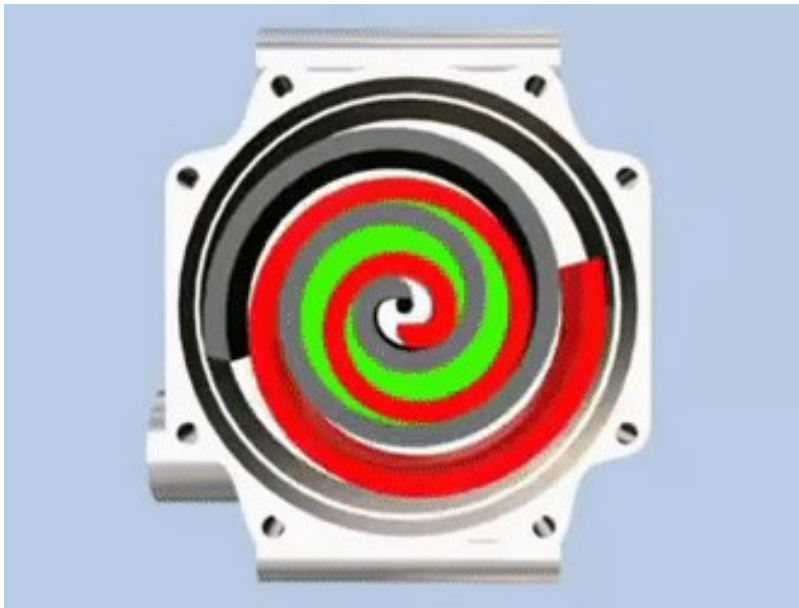
Lämpöpumpun pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisuntalaite. Lämpöpumpuissa voi myös olla muita komponentteja. Muita komponentteja ovat esimerkiksi alijäähdytin, suodattimet, energianmittausjärjestelmä, kaasuvuotoanturi, öljynerotin ja vaimentimet.

#### Kompressorit

Kompressorin tehtävänä on kylmäaineen paineen nostaminen tarpeeksi korkeaksi. Tämä aiheuttaa lauhtumislämpötilan kasvun. Syntyneen paine-eron takia kylmäaine siirtyy lauhtuttimesta höyrystimeen. Kompressoreita on erityyppisiä. Teollisuuslämpöpumpuissa yleisimpiä kompressorityyppejä ovat ruuvi-, scroll- ja mäntäkompressori. Kaikilla kompressorityypeillä on oma toimintaperiaatteensa. Kompressoreissa käytetään erilaisia rakenteita. Näitä rakenteita ovat hermeettiset, puolihhermeettiset ja avokompressorit. Hermeettisessä kompressorissa sähkömoottori ja kompressori sijaitsevat kuoren sisällä. Puolihhermeettisissä kompressoreissa moottori ja kompressori sijaitsevat avattavan kuoren sisällä. [6, s. 51—54.]

Ruuvikompressorissa kylmäainehöyry jäädyttää sähkömoottoria, ennen kuin se siirtyy varsinaiseen kompressoriosaan. Suurimmassa osassa ruuvikompressoreita on kaksi roottoria. Roottorit pyörivät toisiaan vasten. Roottorien keskinäinen välys sekä roottorien ja rungon välinen välys tiivistetään öljyn avulla. Höyry kulkeutuu rottorien ja rungon välisessä tilassa kompressorin läpi. [6, s. 51—54.]

Scroll-kompressorissa paine tuotetaan kahdella kierukalla, jotka on asetettu kuvan 3 mukaisesti. Kylmäaineen puristus tapahtuu näiden kahden kierukan välissä. Toinen kierukoista kiertää samalla, kun toinen pysyy paikallaan. Kierukoiden väliin jäänyt höyry puristetaan kolmen kierroksen aikana imupuolelta painepuolelle. [6, s. 54]



Kuva 3. Scroll-kompressorin toimintaperiaate [8.]

Mäntäkompressorin toiminta voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa mäntä liikkuu ulospäin, jolloin sylinteriin muodostuu alipaine. Sylinterissä valitsevan alipaineen takia imukanavasta virtaa höyryä sylinteriin. Virtaava höyry pitää imuventtiilit auki. Toisessa vaiheessa mäntä pysähtyy ja alkaa liikkua sylinterin kantta kohden, tilavuus pienenee, ja höyry puristuu kokoon, jolloin paine nousee ja imuventtiilit sulkeutuvat. Kolmannessa vaiheessa korkea paine avaa paineventtiilit ja mäntä työntää höyryn ulos. Neljännessä vaiheessa paine sylinterissä laskee hieman ja paineventtiilit sulkeutuvat. [9, s. 129—145.]

### Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävä on poistaa järjestelmästä lämpöä. Tämän seurauksena korkeassa paineessa ja lämpötilassa olevan kylmäaineen olotila muuttuu nesteeksi, ja sen lämpötila putoaa. Yleisimpiä lauhduttimia ovat ilma- ja nestejäähdytteiset lauhduttimet. Vesijäähdytteisiä lauhduttimia käytetään usein teollisuudessa, koska käytettävissä on ns. tehdasvettä. Neste- ja vesijäähdytteiset lauhduttimet voivat olla rakenteeltaan moniputkilauhduttimia, koaksiaalilauhduttimia tai levylämmönsiirtimen tyyppisiä lauhduttimia.

Moniputkilauhduttimissa kylmäaine virtaa kylmäaineen vaipassa ja lauhduttava neste sen sisällä olevissa putkissa. Kompressorista tuleva höyry tulee lauhduttimeen vaipan yläosassa sijaitsevasta yhteestä ja poistuu vaipan alaosassa sijaitsevasta yhteestä. Jos lauhduttimen sisätilavuus on tarpeeksi suuri, se voi toimia lämpöpumpun nestesäiliönä.

Levylämmönsiirtimen tyyppinen lauhdutin koostuu poimutetuista levyistä, jotka on juotettu yhteen. Levylämmönsiirtimessä joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäaine ja joka toisessa välissä lauhduttava neste. Kylmäainehöyry johdetaan siirtimeen sen yläosasta ja lauhtunut neste poistuu sen alaosasta. Levylämmönsiirrin voi olla myös hitsattu, tiivistetty tai puolihitsattu. [6, s. 55—56.]

### Höyrystin

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja sitoo tällöin lämpöä ympäristöstä. Välillisissä kylmä- ja jäähdytysjärjestelmissä käytetään höyrystimenä usein levylämmönsiirtimiä. Höyrystin koostuu tällöin poimutetuista levyistä, jotka on juotettu toisiinsa. Joka toisessa levyvälissä kiertää kylmäaine ja joka toisessa välissä kiertää jäähdytettävä neste. Levylämmönsiirtimen tyyppiset höyrystimet ovat pienikokoisempia kuin teholtaan vastaavat moniputkihöyrystimet.

Moniputkihöyrystimissä kylmäaine virtaa vaipan sisällä olevissa putkissa, ja vesi virtaa vaipassa. Kylmäaine syötetään höyrystimeen päädyn alaosassa olevista yhteistä ja se poistuu päädyn yläosassa olevista yhteistä. Höyrystin voidaan kylmäainepuolella jakaa 1—4 piiriin. [6, s. 59—60.]

### Paisuntaventtiili

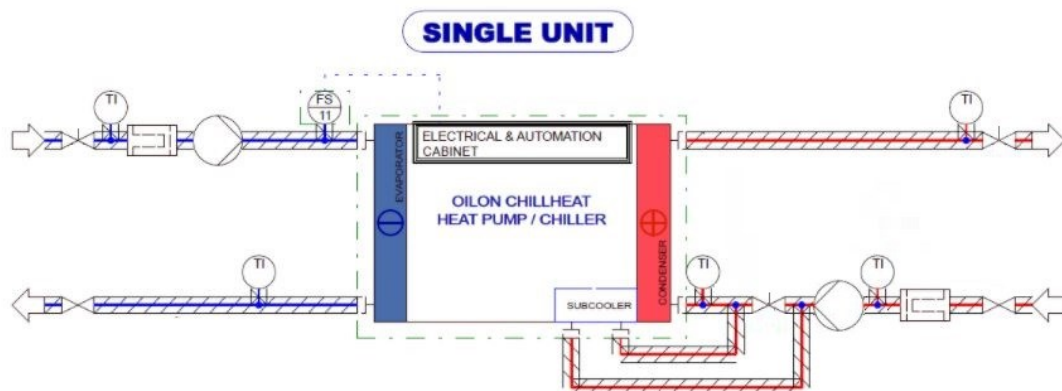
Paisuntaventtiilejä on termostaattisia ja elektronisia. Termostaattinen paisuntaventtiili säättää kylmäaineen syöttöä höyrystimeen. Syöttöä ohjaa kylmäaineen tulistus. Termostaattisen paisuntaventtiilin pääkomponentteja ovat kalvo, suutin, runko, säätöruuvi ja paineentasaus. Tulistuksen pienentyessä venttiili alkaa sulkeutua.

Sähköisen paisuntaventtiilin pääkomponentteja ovat säädin, sähköisesti toimiva venttiili, lämpötila-anturi ja painelähetin. Säädin määrittää paine- ja lämpötilamittauksen perusteella kylmäaineen tulistumisen ja ohjaa sen perusteella paisuntaventtiilin toimintaa.

Sähköinen paisuntaventtiili toimii joko pulssisäädön perusteella tai jatkuvasäätöisesti. Pulssisäätöinen paisuntaventtiili toimii myös nesteputken sulkevana magneettiventtiilinä. Jatkuvasäätöinen paisuntaventtiili toimii normaalisti askel- tai lämpömoottorin avulla. [9, s. 214—218.]

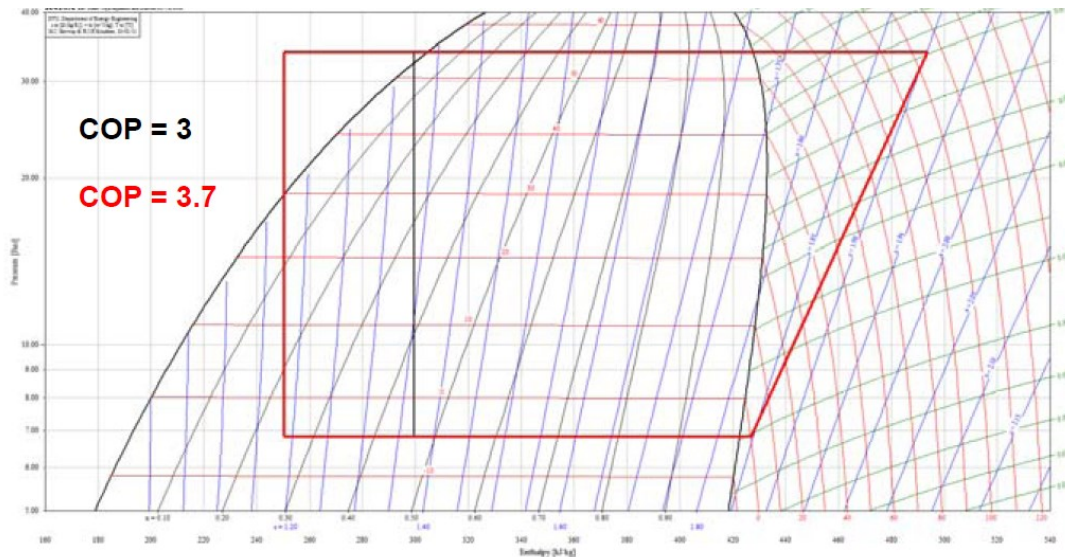
#### Muut komponentit

Lämpöpumpun yleisin optio on alijäähdytin. Alijäähdytin on lämmönsiirrin ja lämpöpumpussa se sijaitsee lauhduttimen ja paisuntaventtiilin välissä. Kuvassa 4 nähdään alijäähdyttimen kytkentä. Ennen alijäähdytintä kylmäaine on lämmintä nestettä, jonka lämpöä voidaan hyödyntää alijäähdyttimellä. Alijäähdyttimellä kylmäaineesta otetaan lämpöä talteen erilliseen vesivirtaan. Alijäähdyttimessä siis alijäähdytetään kylmäainetta ja tällöin kompressorilla saadaan suurempi jäädytysteho. Alijäähdyttimellä voidaan myös varmistaa, ettei kylmäaine jää kylläiseksi nesteeksi tai kylläiseksi seokseksi, kun se siirtyy paisuntaventtiilille. [9, s. 260, 10]



Kuva 4. Alijäähdyttimen kytkentä Oilon ChillHeat -lämpöpumpussa. [11.]

Suurin teho saadaan, kun lämmityspuolen lämpötilaero on suurin. Kuvassa 5 nähdään, kuinka suuri vaikutus alijäähdyttimellä on COP-arvoon esimerkkitalanteessa. Kuvasta nähdään, että ennen alijäähdytintä lämpöpumpun COP-arvo oli 3. Alijäähdyttimen lisäämisen jälkeen COP-arvo (Lämpökerroin) nousi 3,7:ään. [11.]



Kuva 5. Alijäädyttimen vaikutus lämpöpumpun hyötysuhteeseen esitetty log,p,H -diagrammissa.[11.]

Vuodon ilmaisimia käytetään kylmäainevuotojen löytämiseen. Mahdollisten vuotojen etsimiseen käytetään tätä varten kehitettyä aerosolia tai liuosta. Nämä ilmaisevat vuodon kuplimalla. Elektroniset vuodonilmaisemat pystyvät paikallistamaan erittäin pieniä vuotoja. Laite ilmoittaa vuodosta äänimerkillä, joka voimistuu vuodon koon kasvaessa. Suurissa teollisissa kylmälaitteistoissa käytetään kiinteää vuodonilmaisujärjestelmää, ja tällöin anturien hälytysrajat ovat yleensä säädeltävissä [9, s. 223.]

Lämpöpumpussa voi olla kuivainsuodattimia, imusuodattimia, palamisjättesuodattimia ja öljynsuodattimia. Kuivainsuodatin sitoo järjestelmässä olevia epäpuhtauksia. Imusuodattimilla estetään järjestelmässä olevien kiinteiden epäpuhtauksien pääsy kompressoriin. Palamisjättesuodattimen tehtävä on kompressorin moottorin palamisen jälkeen poistaa järjestelmään jääneet hapot, palamisjätteet ja kosteus. Öljynsuodatin estää öljyssä olevan lian pääsyn kompressorin säätöventtiiliin. [9, s. 256—258.]

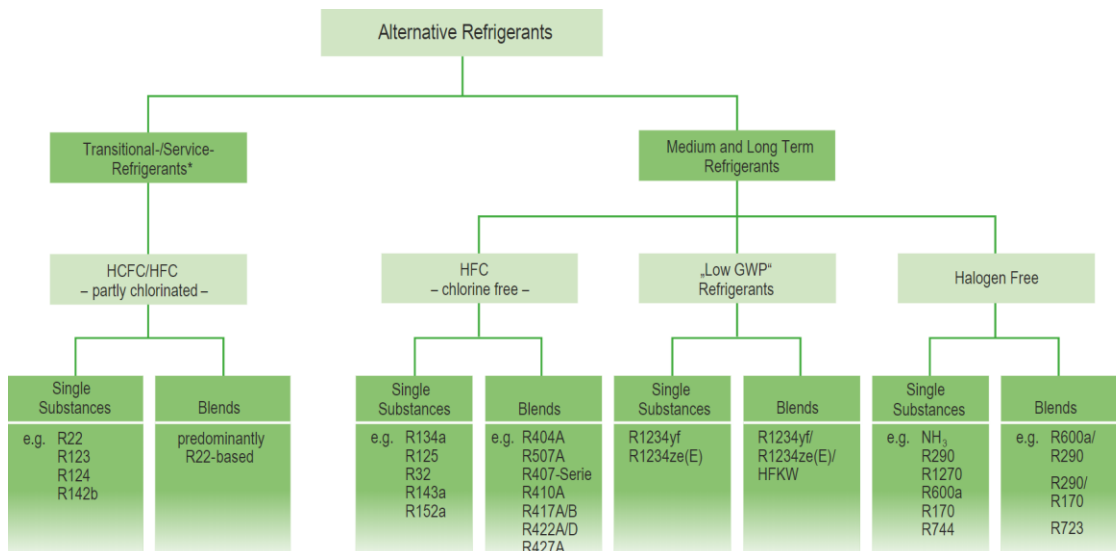
Lämpöpumpuissa voidaan käyttää äänen- ja värinävaimentimia. Mahdollisia ääni- ja värinävaimentimia ovat esimerkiksi lämpöpumpun jalkojen alle laitettava kumimatto tai lämpöpumpun päälle asennettava kotelo. Äänenvaimenninta käytetään tasoittamaan kompressorin ääntä. Värinävaimennusta käytetään vähentämään kompressorien aiheuttamien värähtelyjen siirtymistä putkistoon ja rakenteisiin. [9, s. 259.]

### 3.1.2 Kylmäaineet

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäainekiertoon. Kylmäaineiden käyttö lämpöpumpuissa perustuu niiden kykyyn muuttaa olomuotoaan nestemäisestä kaasumaiseen ja takaisin. Kylmäaineen olomuoto muuttuu, kun se ottavat vastaan lämpöä ympäristöstä tai luovuttavat lämpöä ympäristöönsä. [6, s. 31.]

Kylmäaineelta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, joita ovat turvallisuus, hyvät termodynaamiset ominaisuudet ja ympäristövaikutuksien minimointi. Hyviä termodynaamisia ominaisuuksia kylmäaineille ovat suuri höyrystymislämpö, pieni kompressorin painesuhde, pieni viskositeetti, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet ja suuri tilavuustuotto. Kylmäaineet voidaan jakaa luokkiin kylmäaineen koostumuksen ja turvallisuuden perusteella. Kuvassa 6 on esitetty, miten kylmäaineet voidaan jakaa luokkiin koostumuksen perusteella. [6, s. 33—43.]

Teollisuuslämpöpumpuissa yleisimmin käytössä oleva kylmäaine on vielä tällä hetkellä R134a, joka on HFC-kylmäaine. Teollisuuslämpöpumppuja toimitetaan jo paljon myös alhaisemman GWP-arvon kylmäaineilla kuten R450A ja R513A sekä lähes nolla GWP-arvon HFO-kylmäaineella. GWP-arvo on lyhenne sanoista Global Warming Potential. Sillä mitataan kasvihuonevaikutusta eli lämmitysvaikutusta maapallon ilmastoon verrattuna hiilidioksidiin 100 vuoden jaksolla. [6, s. 33—43.]



Kuva 6. Kylmäaineluokat koostumuksen perusteella [12.]

### 3.1.2.1 Turvallisuus

Kylmäaineet on jaoteltu turvallisuusluokkiin eurooppalaisen normin (EN-378-1) mukaan. Nämä luokat perustuvat kylmäaineen palavuuteen ja myrkyllisyyteen. Myrkyllisyysluokkien A ja B rajana on 400 ppm. Aineet, joiden sallittu ppm-pitoisuus on yli 400 ppm, ovat luokkaa A. Luokkaan B kuuluvat ne aineet, joiden sallittu työpaikkapitoisuus on enintään 400 ppm.

Palavuusluokat määritellään ilmassa palavuuden mukaan. Palavuusluokka 1 ei pala ilmassa. Palavuusluokka 2:n syttymisraja ilmassa on yli 3,55 til.-% ja palavuusluokka 3:n syttymisraja ilmassa on alle 3,5 til.-%. 2L-luokkaan kuuluvat ne kylmäaineet, joiden palamisnopeus on pienempi kuin 10 cm/s. Luokkaa 2L ei vielä löydy eurooppalaisesta standardista, mutta sen lisääminen on käsittelyssä. Palavuusluokat on määritelty taulukon 1 mukaisesti [11].

Taulukko 1. Kylmäaineluokat turvallisuuden perusteella [11.]

Palavuusluokka	Myrkyllisyysluokka	
	A (terveydelle haitaton)	B (terveydelle haitallinen)
1 Palamaton	A1	B1
2L Pienempi syttymisherkyys	A2L	B2L
2 Syttymisherkkä	A2	B2
3 Suuri syttymisherkyys	A3	B3

### 3.1.3 Sovellusalueet

Teollisuuslämpöpumppuja voidaan hyödyntää energiantuotantoon ja -kierrätykseen monissa eri kohteissa. Yleisimpiä kohteita teollisuudessa ovat panimot, meijerit ja jätevedenpuhdistamot. Myös erinäisiin isoihin kiinteistöihin teollisuuslämpöpumput ovat hyviä, koska tarvittavat jäähdytys- ja lämmitystekhot ovat niin suuret. Isoista kiinteistöistä esimerkkinä ovat logistiikka- ja palvelukeskukset. Teollisuuslämpöpumput soveltuvat myös



kaukolämmön ja -kylmän tuottoon. Mitä korkeampiin lämpötiloihin lämpöpumpuilla päästään, sitä paremmin ne sopivat teollisuuden käyttöön. Sovellusalueet lisääntyvät, kun energiantuotannon ympäristövaatimukset kiristyvät, ja tietoisuus niiden hyödyntämispotentiaalista kasvaa [5.]

### 3.1.4 COP-arvon optimointi

COP-arvo riippuu lauhdutus- ja höyrystyslämpötiloista. Lämpöpumpun suorituskykyä kuvataan usein kylmä- tai lämpökertoimen avulla. Lämpöpumpun COP (Coefficient of Performance) kertoo, kuinka moninkertaisen määrän lämpöenergiaa saadaan tuotettua sähköenergiaan nähden.

$$\text{Coefficient of Performance (COP)} = \frac{\text{Tuotettu lämpö}}{\text{Käytetty sähkö}}$$

Ensimmäinen vaihtoehto COP arvon parantamiseen on käyttää optimoitua säätöä. Siinä optimoidaan tulistusta ja käytetään elektronista paisuntaventtiiliä, jossa on ennustava, adaptiivinen säätö. Osa elektronisen paisuntaventtiilin säätimistä pysyy koko ajan vakiona ja osa hakee jatkuvasti pientä vakaata tulistumista ja sen kautta pyrkii käyttämään höyrystimiseen mahdollisimman suuren osan höyrystimen pinta-alasta. [9, s. 217.]

Toinen vaihtoehto on käyttää alijäähdytintä. Alijäähdytintä on lämmönsiirrin, jossa alijäähdytetään kylmäainetta. Tämän avulla voidaan lisätä jäähdytyskapasiteettia lisäämättä sähköä. Alijäähdyttimen potentiaali riippuu pääasiassa lämmityskohteen meno- ja paluuveden lämpötilaeroista. Alijäähdyttimen käyttö nostaa COP-arvoa, koska tällä tavoin saadaan tuotettua suurempi jäähdytysteho.

Parempiin osatehomahdollisuuksiin päästään taajuusmuuttajilla, jolloin kompressoreiden tehoa ja sitä kautta lämpöpumpun tehoa säädetään kompressoreiden moottoreiden kierroslukua muuttamalla. Kierroslukusäädön avulla kompressoreiden hyötysuhde ei heikkene etenkin alhaisilla osatehoilla merkittävästi toisin kuin muilla säätötavoilla. Tämä johtaa siihen, että lämpöpumppujen COP-arvo pienillä osatehoilla on parempi eikä heikkene alhaisillakaan osatehoilla merkittävästi. Taajuusmuuttajat tarjoavat lämpöpumpulle usein myös portaattoman säätömahdollisuuden. [13.]

Yhden lämpöpumpun sisällä voi olla samassa kylmäainepiirissä useampi kompressorin rinnankytkettynä. Tällä saadaan minimikuorman COP-arvoa paremmaksi.

Lämpöpumppuja voidaan kytkeä keskenään rinnan tai sarjaan niin höyrystin- kuin lauhdutinpuolelta. Sarjaan kytkettynä lämpötila jakaantuu lämpöpumpuille tasaisesti eikä yksi lämpöpumppu joudu tuottamaan kaikkea yksin. COP-arvoa on mahdollista parantaa kytkemällä useampi lämpöpumppu sarjaan. Tällöin paranee myös lämpöpumpun kapasiteetti. Sarjaan kytkettynä lämpöpumppujen vaihtimissa aiheutuvat painehäviöt voivat kuitenkin kasvaa suuriksi, joten tämä on huomioitava kytkentöjä tarkasteltaessa. [11.]

### 3.2 Lämpöpumppujen vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin

Lämpöpumppujen suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Selitys löytyy investoinnin kannattavuudesta ja kasvavasta huolesta ilmastomuutoksen suhteen. Jos lämpöpumpuilla korvataan fossiilisia energialähteitä, niin se vähentää sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästöjä ja terveydelle haitallisia pienhiukkaspäästöjä. Eniten hyötyä ympäristönäkökulmasta lämpöpumppuhankinnalla on kohteissa, joissa on käytössä sähkö- tai öljylämmitys. Tällä hetkellä lämmityksessä käytetään eniten fossiilisia polttoaineita. Lämpöpumpuilla pystytään korvaamaan 2/3 perinteisestä kotitalouden lämmöntuotannosta uusiutuvalla energialla. [14; 15.]

Kaukolämpö on yksi merkittävimmistä kasvihuonepäästöjen lähteistä. Kaukolämmön tuotannossa on polttoaineena käytetty paljon kivihiiltä ja maakaasua. On tutkittu, että pääkaupunkiseudun ilmastopäästöt vähenivät Helsingin seudun ympäristöpalveluiden alustavien laskelmien mukaan 7 % vuonna 2015. Lämpöpumppujen käytön lisääntyminen kaukolämmön tuotannossa oli yksi merkittävimmistä toimista. Vuosina 2015—2017 lämpöpumppujen ja bioenergian käyttö kaukolämmön tuotannossa on kaksinkertaistunut. Vuonna 2015 lämpöpumppujen osuus kaukolämmön tuotannossa kasvoi 4,4 %:sta 9,2 %:iin. Vuonna 2019 lämpöpumput kattoivat 9,7 % kaukolämmöntuotannosta. [16; 17; 18.]

### 3.3 Oilon ChillHeat -lämpöpumput

Oilon aloitti teollisuuslämpöpumppujen ja vedenjäähdyttimen kehityksen ja toimittamisen 2000-luvun puolivälissä pioneerina Suomessa. Vuonna 2013 Oilon lanseerasi ChillHeat-teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet -tuoteperheen. Oilon ChillHeat -teollisuuslämpöpumput valmistetaan Oilonin Kokkolan tehtaalla. [19.]

Tuoteperheeseen kuuluu kolme mallisarjaa. Nämä ovat korkeanlämpötilan P-sarja, suuritehoinen S-sarja ja maalämpökohteisiin erityisesti soveltuva RE-sarja. P-sarjan koneet on varustettu mäntäkompressoreilla, S-sarjan koneet ruuvikompressoreilla ja RE-sarjan koneet scroll-kompressoreilla. Oilon ChillHeat -lämpöpumput ovat kompaktin kokoisia, helppokäyttöisiä ja soveltuvat jäähdytykseen sekä lämmitykseen. [19.]

Lämpöpumppuihin on valittavissa optioita, joiden avulla voidaan esimerkiksi parantaa lämpöpumpun suorituskykyä tai mahdollistaa laajaempi säätöalue. Oilon ChillHeat -lämpöpumppuihin valittavia optioita ovat alijäähdytin, tulistin, taajuusmuuttajat, energianmittausjärjestelmä ja kaasuvuotoanturi. [11.]

#### 3.3.1 Vaihtoehtoiset kylmäaineet

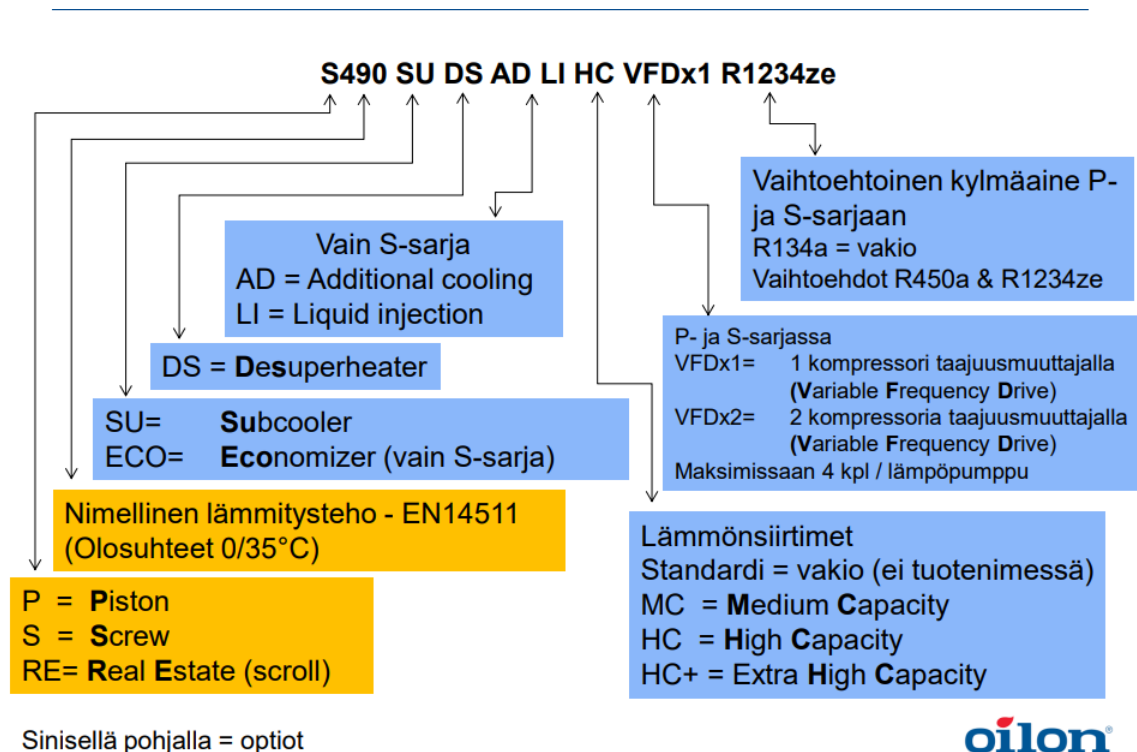
Kylmäainevaihtoehtoja ovat perinteiset R134a ja R410A, mutta valittavissa ovat olleet jo pitkään myös R450A, R1234ze, R513A. Yhä useammin trendinä on saada matalan GWP-arvon kylmäaine, jolloin suosittu on ollut R1234ze, jonka GWP-arvo on alle 1. [11].

Alhaisemman ilmastovaikutuksen (GWP) kylmäaine on selvä etu ja sillä päästään korkeampiin lämpötiloihin. Alhaisemman GWP-arvon lämpöpumppujärjestelmän investointikustannus on kuitenkin suurempi. Tämä ei johdu niinkään pääasiassa kylmäaineen hinnasta vaan ennen kaikkea kylmäaineen volumetrisesta hyötysuhteesta.

#### 3.3.2 Tuotenimet

Oilon ChillHeat -teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet ovat teollisia vakiotuotteita. Oilonin ChillHeat-koneiden tuotenimet muodostuvat suoraan sen ominaisuuksista kuvan 7 mukaisesti. Esimerkiksi, jos lämpöpumpun tuotenimi on S490 SU HC R134a,

se tarkoittaa, että kyseessä on ruuvikone, jonka nimellinen lämmitysteho standardin EN14511 mukaisissa olosuhteissa on 490 kW, siinä on alijäähdytin, suuritehoisia lämmönsiirtimiä ja kylmäaine on R134a.

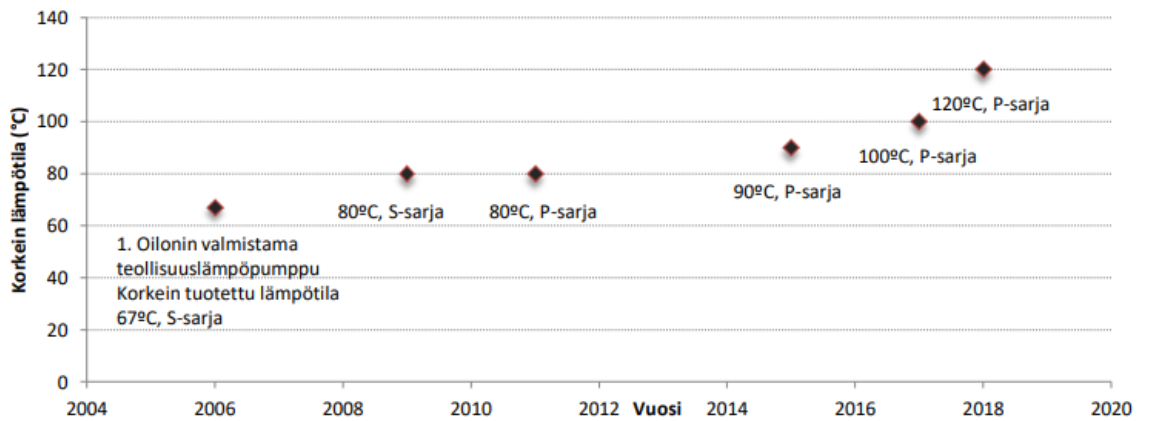


Kuva 7. Oilon ChillHeat-koneiden tuotenimien muodostuminen [11.]

### 3.3.3 Oilon ChillHeat -lämpöpumppujen kehitys

Oilon panostaa voimakkaasti tuotekehitykseen. Esimerkkinä tästä voidaan nähdä kuvan 8 mukaisesti lämpöpumppujen korkeimman tuotetun veden lämpötilan kehitys 2000-luvun puolesta välistä 2010-luvun loppuun. Ensimmäinen Oilonin valmistama teollisuuslämpöpumppu vuonna 2006 pystyi tuottamaan 67-asteista vettä. Kylmäaineiden ja lämpöpumpputekniikan kehityksen ansiosta on päästy aina vain korkeampiin lämpötiloihin. Vuodesta 2018 lähtien Oilon ChillHeat P-sarjan lämpöpumpuilla on ollut mahdollisuus tuottaa 120-asteista vettä.

## Korkein tuotettu lämpötila vuosina 2006—2019.



Kuva 8. Korkeimmat mahdolliset lämpötilat vuosien aikana [11.]

### 3.3.4 Global Monitor

Oilon Global Monitorilla on mahdollista seurata etänä yhtä tai useampaa ChillHeat-lämpöpumppua tai -järjestelmää. Ohjelmasta saa monipuolisen ja visuaalisen raportin lämpöpumpun toiminnasta. Asiakkaalta vaaditaan vain toimiva internetyhteys lämpöpumpulle. Global Monitor mahdollistaa lämpöpumpun vikojen seurannan, käytöntuen ja optimoinnin ympäri maailmaa etänä. Tällä pystytään vähentämään huoltokustannuksia. Lämpöpumpusta pystytään mittaamaan yhteensä yli 40 suuretta. [5.]

## 4 Oilon Selection Tool -valintaohjelma

Oilon Selection Tool -mitoitushjelmalla on mahdollista mitoittaa kiinteistölämpöpumppuja, teollisuuslämpöpumppuja ja polttimia. Oilon Selection Tool -mitoitushjelman etu on, että asiakkaat pystyvät itse sen avulla mitoittamaan heidän tarpeeseensa sopivan lämpöpumpun tai polttimen.

Ennen teollisuuslämpöpumppujen mitoituksen tekemistä tulee tietää jäähdytys- ja lämmityspuolen nesteiden lämpötilat. Valintaohjelmasta löytyy kaikki Oilon ChillHeat -lämpöpumput. Valintaohjelmasta näkee laajasti tarvittavia tietoja lämpöpumpun valintaan

liittyen, mukaan lukien sähkönkulutus, jäähdytys- ja lämmityskapasiteetti sekä osa-tehomahtoisuudet. Valintaohjelmassa voi myös tarkastella, miten osatehoilla ajaminen vaikuttaa COP-arvoon.

OST-mitoitusohjelma luo valmiin pohjan tarjouksen tekemiseen ja tulostaa automaattisesti lämpöpumpputarjouksen tekniset tiedot. Ohjelmasta on mahdollista valita toimittamiseen lisävarusteita. Näitä ovat esimerkiksi sähkönkulutusmittari tai kaasuvuotoanturi. Tarjous on mahdollista tulostaa usealle kielelle suomen ja englannin lisäksi.

#### 4.1 Valintojen tekemiseen vaikuttavat asiat

Lämpöpumpun valinnassa keskeisimpiä huomioon otettavia asioita ovat lämmönlähde, lämmityskohde, lämpöpumpun suorituskyky, automaatio, investointi- ja elinkaarikustannukset, kylmäainevaatimukset ja asennuspaikka. [11.]

##### 4.1.1 Lämmönlähde ja lämmityskohde

Lämmönlähteestä on tärkeää tietää lämpötilat ja niiden vaihtelevuus. Jos lämpötilat vaihtelevat paljon, täytyy selvittää, pystyykö lämpöpumppu tuottamaan tarvittavaa tehoa myös vaihtoehtoisilla lämpötiloilla. Lisäksi on tärkeää tietää lämmönlähteen laatu. Lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia prosessivesiä, kaukolämmön paluulinjaa, jätevettä ja maalämpöä. Oilon ChillHeat -lämpöpumput ovat vakiotuotteita, joten niitä käytettäessä lämmönlähteen ollessa esimerkiksi jätevettä, on mietittävä välipiirin rakentamista, ettei lämpöpumppu likaannu, mikä pahimmillaan voi johtaa lämpöpumpun tukkeutumiseen. [11.]

Itse lämmityskohde on tärkeä tietää. Lämmityskohteesta tarvittavat tiedot ovat samat kuin lämmönlähteestäkin. Lämmityskohteesta tarvitaan tiedoksi halutut lämpötilat ja lämpötilojen vaihtelevuus. Näitä tietoja käyttäen saadaan lämpöpumpulle paras mahdollinen toiminta-alue. [11.]

#### 4.1.2 Lämpöpumpun suorituskyky

Lämpöpumpua valittaessa tarkastellaan tyypillisesti lämpöpumpun lämmitys-, jäähdytystehoa tai molempia sekä COP-arvoa mitoitusolosuhteissa. Myös toiminta-alue tehonsäädön ja lämpötilojen suhteen on tärkeää tarkistaa. Osatehomahdollisuuksien vertailu on tärkeää parhaan mahdollisen lämpöpumpun löytämiseksi kohteeseen, koska lämpöpumppu tai lämpöpumput käyvät juuri mitoitusolosuhteissa tyypillisesti suhteellisen vähän aikaa vuosittain. [11.]

#### 4.1.3 Automaatio

Automaation osalta tärkein valinta on lämpöpumpun ohjaustavan valinta. Lämpöpumpun tehoa voidaan säätää joko jäähdytys- tai lämmityspuolen asetusarvon mukaan. Liuosvirtauksset voivat olla joko vakioita tai muuttuvia. Lämpöpumpun automaation mittauksia ovat muun muassa ulkolämpötila, sähkönkulutus, tuotettu lämmitys- ja jäähdytysteho. Tilatietoina saadaan esimerkiksi tieto lämpöpumpun käynnistysvalmiudesta, käynnissä olemisesta ja kiertopumppujen tiloista. [11.]

Lämpöpumpun etäseurannan avulla saadaan tietoa siitä, missä kunnossa lämpöpumppu on, ja pystytään määrittämään sen huollon tarve. [8.]

#### 4.1.4 Investointi- ja elinkaarikustannukset

Jokaisella lämpöpumpulla on investointi- ja elinkaarikustannukset. Investointikustannuksiin lasketaan kuuluvaksi lämpöpumpun hankintahinta, oheisjärjestelmien hankintahinta ja maalämpökentän rakennus. Elinkaarikustannuksiin lasketaan kuuluvaksi lämpöpumpun sähköenergian käyttö ja sen huolto sekä kunnossapitokustannukset. Investointi- ja elinkaarikustannuksia verrataan ennalta laskettuihin arvioihin primäärienergian käytöstä ja siitä syntyviin hiilidioksidipäästöjen vähennyksiin, kun arvioidaan investoinnin kannattavuutta. [11.]

#### 4.1.5 Kylmäainevaatimukset

Käyttökohde voi asettaa erilaisia vaatimuksia valittavalle kylmäaineelle. Alhainen GWP-arvo yleisty johtuen EU-tasolla tiukentuvasta F-kaasuasetuksesta. Toisaalta myrkyttömät ja palamattomat kylmäaineet eli A1-luokittelut ovat myös usein olleet vaatimuksena. [11.]

#### 4.1.6 Asennuspaikka

Lämpöpumppua valitessa on tärkeää huomioida, kuinka paljon tilaa lämpöpumpulle on huoltotiloineen mahdollista järjestää. Vanhaan kohteeseen lämpöpumpun asentaminen voi olla vaikeampaa, jos tarpeeksi isoa tilaa ei löydy. Jos lämpöpumppua suunnitellaan täysin uuteen valmistuvaan rakennukseen, on helppo varata lämpöpumpulle tarvittavan suuri tila ja riittävä haalausreitti. On oleellista ottaa huomioon myös sähkönsyötön riittäminen tai sen järjestämiseen liittyvät investointikustannukset. Useissa kohteissa lämpöpumpuille on myös äänirajoituksia, jotka on huomioitava lämpöpumppua valitessa. [11.]

## 5 Lämpöpumppuratkaisu kohteeseen

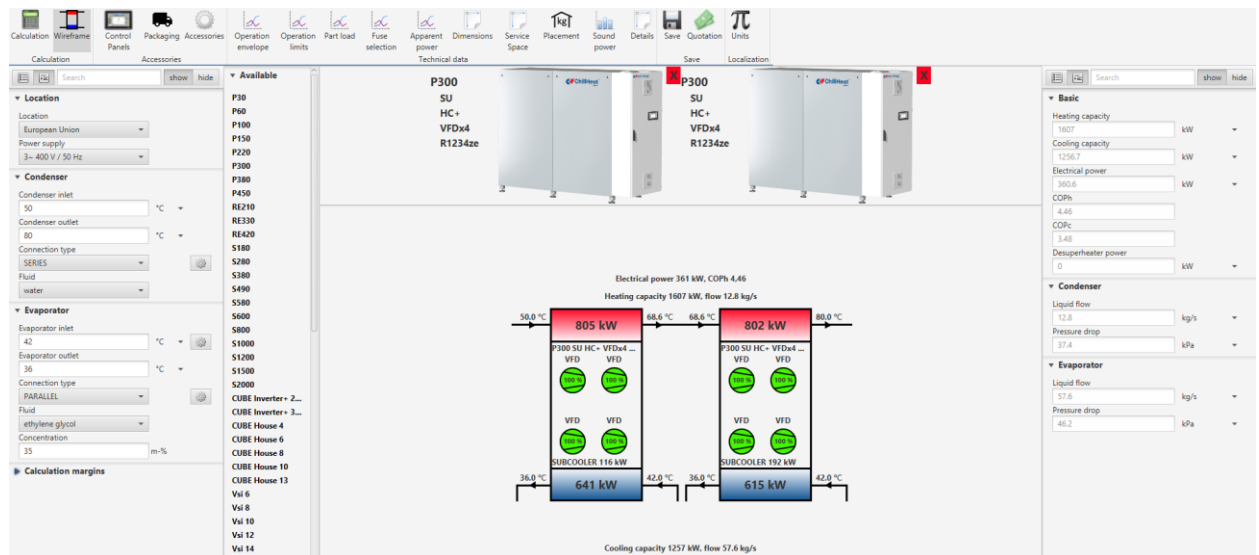
Kohteessa tutkitaan hukkalämmön hyödyntämispotentiaalia olemassa olevan jäähdytysjärjestelmän lauhtutinkierrosta kasvattaen samalla jäähdytysjärjestelmän jäähdytystehoa sekä tuottamalla jäähdytystä suoraan jäähdytysvesikiertoon. Lisäkapasiteetille on tarvetta tuotantoaikana. Tuotantoaikana lämmitystehon tarve on 2 MW. Tuotantoaika on klo 6—22, jonka aikana tehtaalla työskennellään kahdessa vuorossa. Viikonloppuisin ja öisin kulutus ja lämmönlähteet ovat keskimäärin 30 % verrattuna tuotantoaikaan. Asiakkaan kanssa on arvioitu, että huipun käyttöaika on näin ollen 60 % ja projektin muut kustannukset ovat 400 000 €. Tällä hetkellä käytössä oleva lämmitys maksaa 60 eur/MWh ja sähkön hinta on 80 eur/MWh. Lämpötilatasot ovat nestejäähdyttimen kierrossa tulo 42 °C ja paluu 36 °C. Jäähdytysvesikierrossa tulo on 5 °C ja paluu 1 °C, mutta väliin on laitettava propyleenikierto ehkäisemään veden jäätymistä. Propyleenikierron lämpötilatasot ovat tulo -1 °C ja paluu 3 °C. Tehtaan lämmityskierrossa menoveden lämpötilataso on 80 °C ja paluu on 50 °C.



## 5.1 Valinnat Oilon Selection Tool -ohjelmistolla

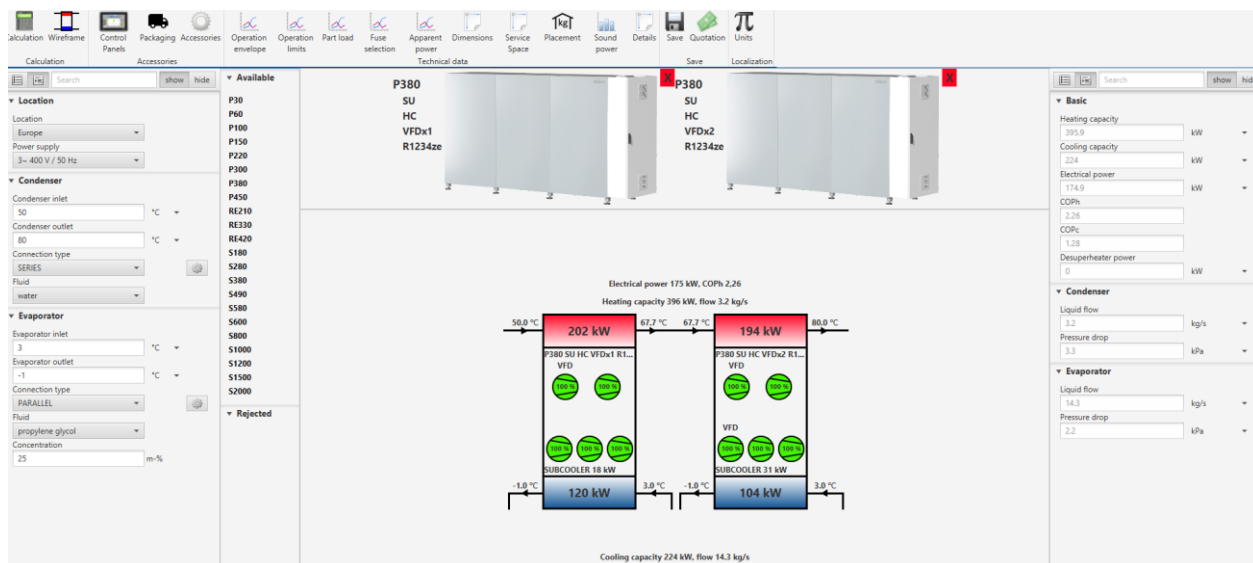
Lämpöpumppujen valinnat tehdään kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa valitaan lämpöpumput nestejäähdytin kiertoa hyödyntävälle lämpöpumppuratkaisulle ja toisessa osassa jäähdytysvesikiertoon jäähdytystä tuottavalle lämpöpumppuratkaisulle. Ehtona nestejäähdytinkiertoa hyödyntävälle lämpöpumppuratkaisulle on, että lämmitystehoksi saadaan noin 1,6 MW. Jäähdytysvesikiertoon jäähdytystä tuottavan lämpöpumppuratkaisun lämmitystehon tarve on noin 400 kW. Tällöin yhteislämmitystehoksi tulee 2 MW.

Nestejäähdytinkiertoa hyödyntävä lämpöpumppuratkaisu ei onnistu yhdellä lämpöpumpulla, koska sillä ei päästä 1,6 MW:n lämmitystehoon. Ohjelmiston avulla tehtyjen tarkasteluiden perusteella paras valinta tähän kohteeseen olisi kaksi P300 SU HC+ VFDx4 R1234ze -lämpöpumppua, koska P-sarjan lämpöpumput soveltuvat parhaiten korkeiden lämpötilojen kohteisiin. Tällä kokonaisuudella pystytään tuottamaan haluttu lämmitys- ja jäähdytysteho sekä saadaan hyvä COP, kuten kuvasta 9 nähdään. Osatehoalueet ovat myös tällöin erinomaiset taajuusmuuttajien ansiosta. Lämpöpumput on kytketty rinnan höyrystinpuolelta, jotta virtaus ei kasvaisi liian suureksi. Kylmäaineeksi valitaan R1234ze, koska se soveltuu hyvin korkeisiin lämpötiloihin ja sillä on erittäin alhainen GWP arvo (<1).



Kuva 9. 1,6 MW:n lämpöpumpun valinta.

Jäähdytysvesikiertoon jäähdytystä tuottavan lämpöpumppuratkaisun lämmitystehon tarve on noin 400 kW. Tämän tuottamiseen tarvitaan kaksi lämpöpumppua haastavien olosuhteiden vuoksi. Kuvan 10 mukaisesti tähän valitaan P380 SU HC VFD x1 R1234ze ja P380 SU HC VFDx2 -lämpöpumput. Tällä järjestelmällä saadaan tuotettua 396 kW:n lämpöteho ja 224 kW:n jäähdytysteho Näissä lämpöpumpuissa käytetään samoin kylmäaineena R1234ze-kylmäainetta, josta jo aikaisemmin todettiin, että sen GWP-arvo on lähes nolla ja se soveltuu erittäin hyvin korkeiden lämpötilojen ja lämpötilanousujen tuottamiseen.



Kuva 10. 400 kW:n lämpöpumpun valinta

Näiden neljän lämpöpumpun yhteenlaskettu COP on  $COP = \frac{1609+395,9}{174,9+360,6} = 3,74$

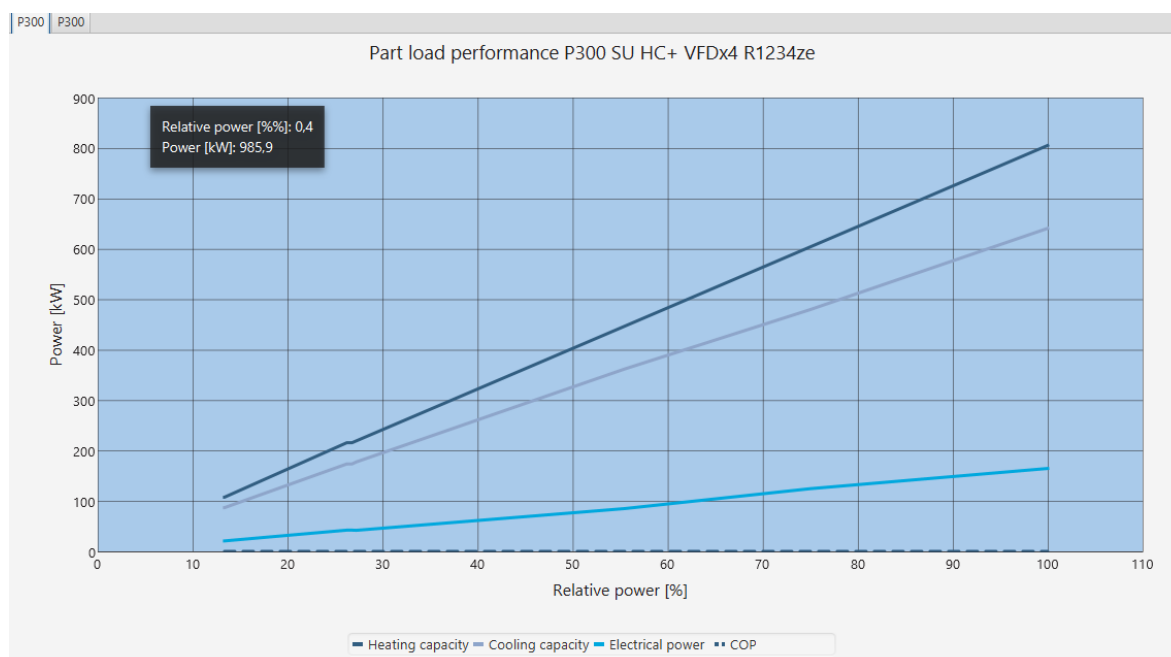
Molempiin lämpöpumppujärjestelmiin valitaan lisävarusteiksi energianmittaus ja kaasuvuotoanturi. Energianmittauksen avulla saadaan tietoa kattavasti lämpöpumppujärjestelmien tuottamista ja kuluttamista energiamääristä ja toisaalta kaasuvuotoanturin avulla voidaan välittömästi havaita mahdolliset kylmäainevuodot. Näin vältetään mahdolliset suuremmat kustannukset rikkoontumisen yhteydessä. Lisävarusteet ovat kustannuksiltaan melko alhaiset.

Tämän jälkeen lasketaan hinta järjestelmille käyttäen listahintoja. Hintaa laskiessa tulee ottaa huomioon itse lämpöpumpun hinta, optiot ja pakkausvalinta. 1,6 MW:n järjestelmän

listahinta on 248 000 €. Jäähdytyskierron lämpöpumppujärjestelmälle listahinta on 276 280 €. Lämpöpumppujen listahinta optioineen on yhteensä 524 280 €.

## 5.2 Osatehoalueet ja käyttötunnit

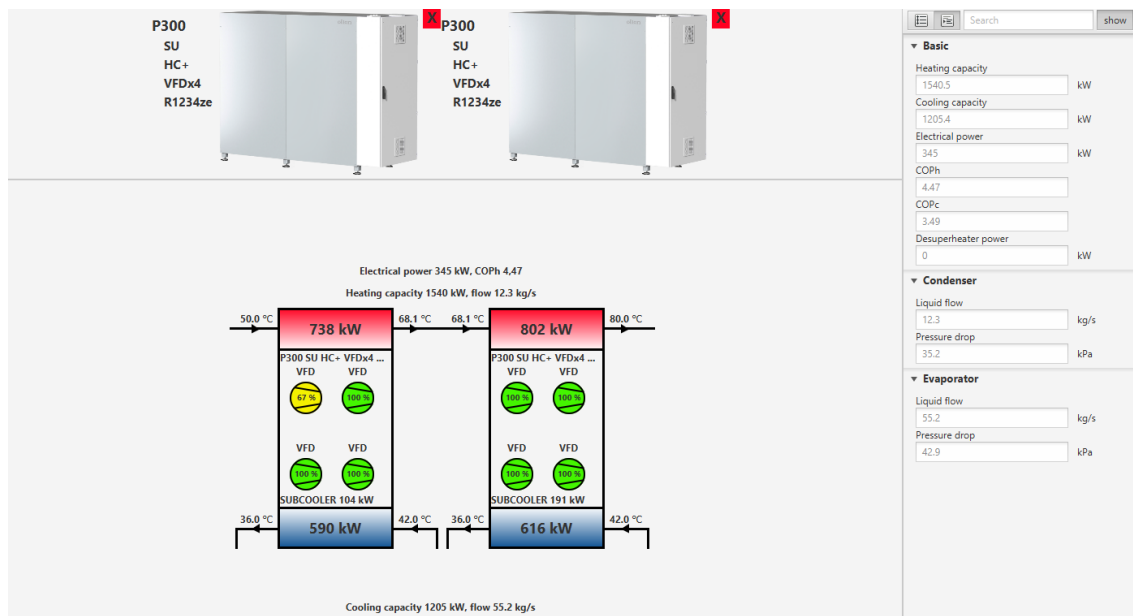
Lämpöpumppuihin valituilla taajuusmuuttajilla voidaan säätää kompressoreiden taajuutta ja tällä tavoin vaikuttaa siihen, millä teholla lämpöpumppua ajetaan. Taajuusmuuttajien ansiosta osatehoalueet ovat järjestelmässä hyvät. 1,6 MW:n järjestelmässä pystytään molemmilla lämpöpumpuilla ajamaan noin tehoilla 13–100 %, kuten kuvasta 11 nähdään. Osatehomahdollisuudet molemmissa P300-lämpöpumpuissa ovat portaattomat tällä välillä.



Kuva 11. Osatehomahdollisuudet P300-lämpöpumpuissa.

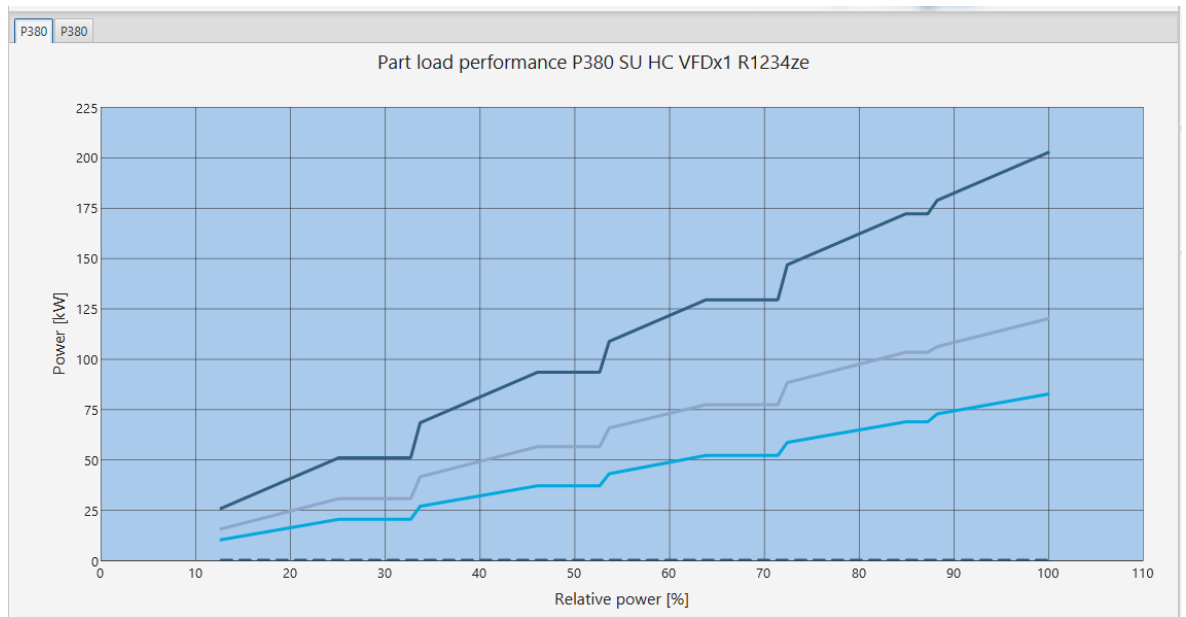
Tilanteessa, jossa ei tarvita täyttä tehoa lämmitykseen, voidaan lämpöpumppua ajaa pienemmillä osatehoalueilla. Tätä voidaan simuloida OST-ohjelmalla kuvan 12 mukai-

sesti. Jokaiselle kompressorille, joka on varustettu taajuusmuuttajalla, pystytään asettamaan OST-valintaohjelmassa taajuus siten, että lämpöpumppua pystytään ajamaan halutulla osateholla. Tämä määrittäminen tehdään OST-valintaohjelmassa Details-välilehdellä. Kohteessa lämmitystarve vaihtelee, mikä puoltaa osatehomahdollisuuksien tarvetta.



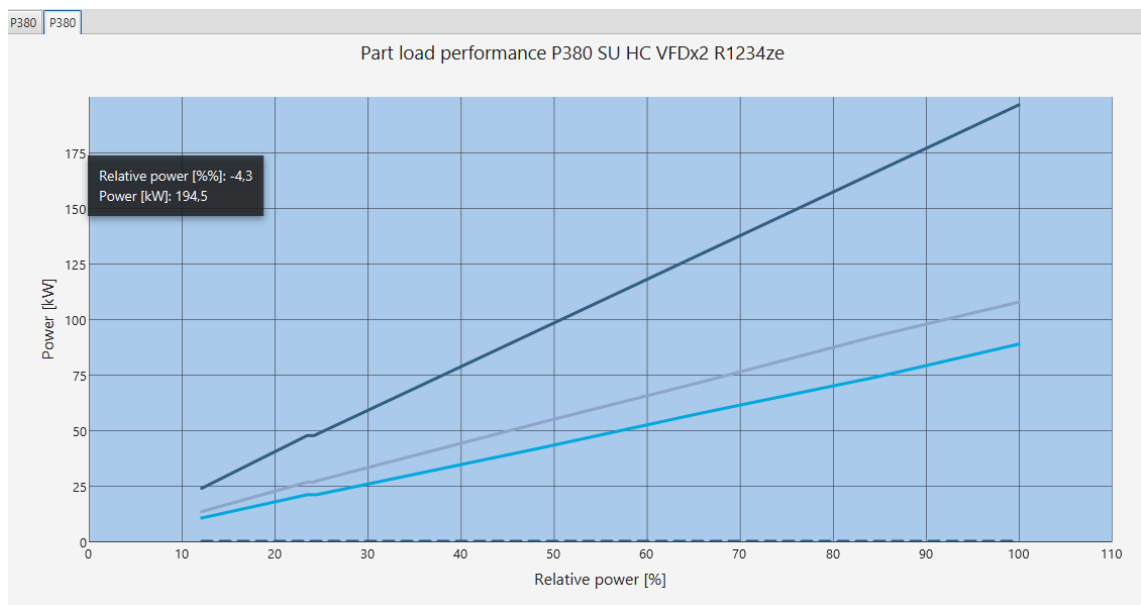
Kuva 12. Osateholla ajo.

Jäähdytyskiertoon valituilla lämpöpumpuissa osatehoalueet ovat todella hyvät. Tässä tapauksessa eivät kuitenkaan täysin portaattomat alueella 12—100 %, kuten kuvasta 13 nähdään. Tämä johtuu siitä, että toinen lämpöpumpuista (P380 SU HC VFDx1) on varustettu vain yhdellä taajuusmuuttajalla.



Kuva 13. Osatehoalue P380 SU HC VFDx1 -lämpöpumpussa.

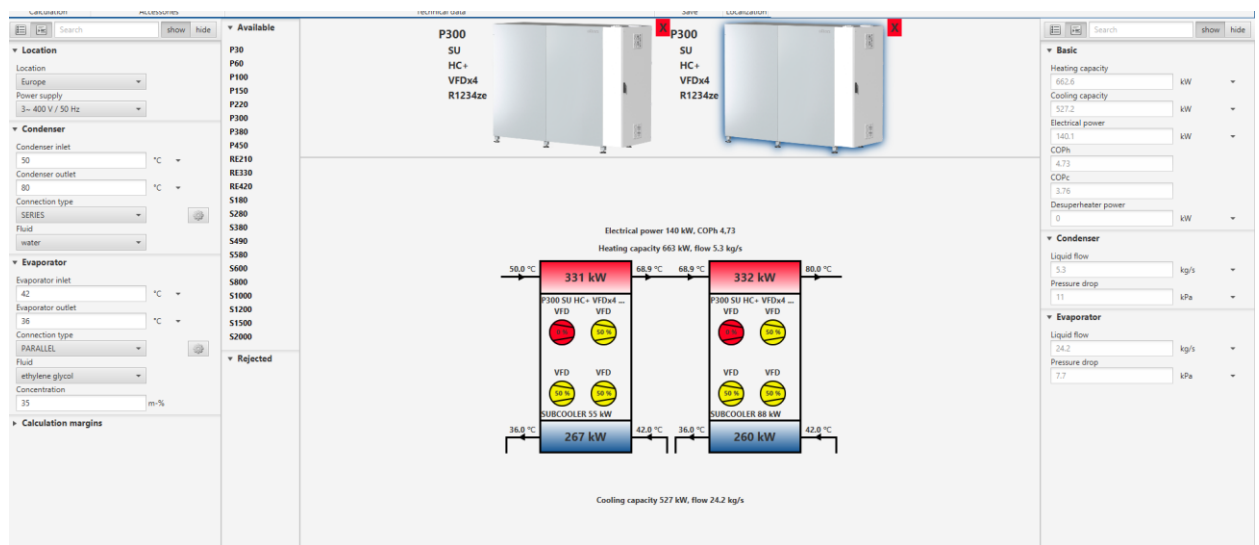
Kuvasta 14 nähdään, että toista lämpöpumpua (P380 SU HC VFDx2) voidaan jäähdytyskiertokäytössäkin käyttää portaattomasti, koska lämpöpumppu on varustettu kahdella taajuusmuuttajalla.



Kuva 14. Osatehoalue P380 SU HC VFDx2 -lämpöpömpussa.

Yhdessä käytettynä osatehomahdollisuudet ovat erinomaiset. Tämän lämpöpumppuyhdistelmän valitsemista puoltaa mahdollisuudet tuottaa tehoa laajalla osatehoalueella lähes portaattomasti. OST-valintaohjelmalla on mahdollista nähdä vain lämpöpumppukohdittaiset osatehoalueet.

Noin puolet ajasta kohteessa tarvitaan vain 30 % täydestä tehosta. Tilannetta voidaan simuloida OST-valintaohjelmalla asettamalla osatehot 1,6MW:n lämpöpumppujärjestelmässä kuvan 15 mukaisesti. Tällöin myös sähkönkäytön tarve on pienempi, ja pystytään saavuttamaan lisää säästöä kustannuksissa.



Kuva 15. 30 % teho vaatimuksella ajaminen.

### 5.3 Huoltokustannukset ja vuosittaiset kustannukset

Vuosittaiset kustannukset koostuvat pääasiassa lämpöpumppujen kuluttamasta sähköenergiasta sekä huoltokustannuksista, joiden määrä on suoraan verrattavissa käyttötuntien määrään. Jokaiselle koneelle suositellaan tehtäväksi vuosihuolto. Oilonilta on ostettavissa suppea ja laaja vuosihuolto. Käyttötuntien perusteella määräytyy, kuinka usein tulee tehdä laaja vuosihuolto.

Laajassa vuosihuollossa lämpöpumpun öljyt vaihdetaan. Muilta osin suppea ja laaja vuosihuolto ovat samanlaiset. Huollossa tarkistetaan aina ylivirtasuojaus, ajorajoitukset, ohjausanturit, kylmäaineen määrä, kylmäaineen kosteus, kylmäainevuodot, sähkö- ja automaatiojohdot ja kompressorisyksiköt. P-sarjan lämpöpumpuissa öljynvaihto tehdään aina ensimmäisen huollon yhteydessä. Normaalisti P-sarjan lämpöpumpuissa öljyt tulee vaihtaa noin 5 vuoden välein. Öljynvaihdon tarve määritetään happotestin perusteella. Oikea-aikainen öljynvaihto P-koneissa on tärkeää, koska öljyn muuttuessa liian happamaksi se syövyttää koneen kupariosia. Kupariosien syöpyminen aiheuttaa koneiden osille ennenaikaisia rikkoontumisia. [20.]

Vuosittain tehtävän suppean vuosihuollon listahinta on 5 000 €. Noin viiden vuoden välein tehtävän laajan vuosihuollon listahinta on 10 000 €. Huoltokustannuksia voi osien rikkoontuessa tulla myös komponenttien vaihdoista tai korjauksista. Huoltokustannukset kuuluvat osaksi käyttökustannuksia. Kustannukset pysyvät viiden vuoden aikana noin 30 000 €:ssa.

### 5.3.1 Laskennallinen taulukko ja sen hyöty

Laskennallinen taulukko auttaa arviomaan takaisinmaksuajan ja lämpöpumppuratkaisun hyödyn kohteessa. Tarkoituksena on pyrkiä aina mahdollisimman lyhyeen takaisinmaksu-aikaan kustannustehokkaan ratkaisun saavuttamiseksi. Lämpöpumppuratkaisun hyödyn arvioimista varten tarvitsee tietää lämpöpumpun huipputeho, arvio huipputehon käyttöasteesta, lämpöpumpun COP, sähkön hinta kohteessa, primäärienergian hinta, lämpöpumppujen budjettihinta ja projektin muut arvioidut kustannukset.

Oheinen taulukko 2 on tehty Excelillä. Tietojen syöttämisen jälkeen on arvioitu, että takaisinmaksuaika tässä kohteessa on noin 2,3 vuotta. Tällöin laskennallinen hyöty lämpöpumppuratkaisun ostamisesta on todella hyvä juuri tähän kohteeseen.

Taulukko 2. Lämpöpumpun takaisinmaksuaika

Lämpöpumpun huipputeho	2000	kW
Vuosittaiset tunnit	8760	h
Huipputehon käyttöaste	60 %	
Lämpöpumpun lämmöntuotto	10512	MWh/vuodessa
Lämpöpumpun COP	3,74	
Lämpöpumpun sähkön käyttö	2800	MWh/vuodessa
Sähkön hinta	80	EUR/MWh
Primäärienergian hinta	60	EUR/MWh
Korvatun energian hinta	631000	EUR/vuodessa
Sähkönkäytön hinta	224000	EUR/vuodessa
<b>SÄÄSTÖT</b>	<b>407000</b>	<b>EUR/vuodessa</b>
Lämpöpumpun listahinta	524280	EUR
Muut projektin kustannukset	400000	EUR
Projektin arvioidut kustannukset	924280	EUR
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>2,3</b>	<b>vuotta</b>

#### 5.4 Lämpöpumpuinvestoinnin hyöty kohteessa

Tässä työssä tehdyn alustavan ja karkean selvityksen perusteella lämpöpumpputjärjestelmäninvestointi olisi kohteeseen hyödyllinen ja kannattava sijoitus. Hankintakustannuksia kohteessa ovat lämpöpumput ja niiden oheisjärjestelmät, joiden arvioitu hinta oli 924 280 €. Energiansäästöön perustuvia säästöjä kertyisi 407 000 € vuodessa. Lämpöpumpputjärjestelmäninvestointi maksaisi tehdyn karkean arvion mukaan itsensä takaisin 2,3 vuodessa. Laskennassa ei ole huomioitu huolto- ja käyttökustannuksia ja toisaalta oheisjärjestelmän investointikustannus perustuu karkeaan arvioon. Toisaalta investointi vähentäisi primäärienergian tarvetta ja vähentäisi myös CO<sub>2</sub>- päästöjä, millä on entistä ratkaisevampi vaikutus yrityksen imagoon sekä laajemmassa kuvassa ilmastonmuutoksen torjumiseen.



Tehdyn selvityksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että kohteessa kannattaa jatkaa lämpöpumppujärjestelmäninvestoinnin kannattavuuden tutkimista vielä tarkemmilla suunnitelmilla ja laskelmilla.

## 6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää lämpöpumppujärjestelmän hyöty asiakas-kohteessa. Työssä käytiin läpi lämpöpumppujen toiminnan perusteet. Tämän lisäksi työssä valittiin lämpöpumppujärjestelmä asiakaskohteeseen ja osoitettiin tämän tuomat hyödyt asiakkaalle.

Työssä osoitettiin, että lämpöpumppujärjestelmä on asiakkaalle hyödyllisempi, kuin tällä hetkellä käytettävä primäärienergia muoto. Energiansäästöön perustuvia säästöjä kertyisi yli 400 000 € vuodessa. Lämpöpumppujärjestelmäninvestointi maksaisi tehdyn kärkeän arvion mukaan itsensä takaisin reilussa kahdessa vuodessa.

Insinööriyössä tehty selvitys perustui karkeisiin kuluarvioihin, joten työn lopputulos ei ole täysin luotettava. Työssä kuitenkin onnistuttiin osoittamaan, että työtä lämpöpumppujärjestelmäninvestoinnin selvityksen kanssa kannattaisi jatkaa tekemällä tarkempia suunnitelmia ja laskelmia. Investoinnilla olisi parantava vaikutus myös asiakasyrityksen imagoon sekä laajemmassa kuvassa ilmastonmuutoksen torjumiseen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäessä.

## Lähteet

- 1 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto <<https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiili-neutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>>. Luettu 22.10.2020.
- 2 Energian loppukäyttö. Verkkoaineisto. Motiva <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/energian\\_kokonaiskulutus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus)>. Luettu 22.10.2020.
- 3 Oilonin historia. Verkkoaineisto. Oilon Oy <<https://oilon.com/fi/oilonin-historia/>>. Luettu 24.5.2020.
- 4 Globaali perheyryitys Oilon. Verkkoaineisto. Oilon Oy <<https://oilon.com/fi/globaali-perheyryitys-oilon>>. Luettu 24.5.2020.
- 5 Powerpoint-esitys Oilon yleisesti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Oilon Oy.
- 6 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti & Kianta, Jani. 2012. Kylmäteknii-  
kan perusteet. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 7 Heat Pump Process. Verkkoaineisto. Renewables First <<https://www.renewablesfirst.co.uk/water-source-heat-pumps/heat-pump-introduction/attachment/1-1/>> Luettu 29.8.2020.
- 8 Scroll Compressor- How a scroll compressor works GIF. Verkkoaineisto.  
<<https://gfyca.com/lonenaivehogget-compressor-youtube>> Luettu 15.7.2020.
- 9 Aalto, Esa; Alijoki, Tapio; Hakala, Pertti; Hirvelä, Aulis; Kaappola, Esko; Mentula, Jukka & Seinelä, Altti. 2012. Kylmätekniiikka. 4.painos. Porvoo; Suomenkylmäyhdistys ry.
- 10 Lämpöpumpun asennus- ja käyttöohje. Verkkoaineisto. Oilon  
[https://www.netrauta.fi/attachments/products/oilon/maalampo/Oilon\\_\\_asennus\\_ ja\\_kaytto-ohje.pdf](https://www.netrauta.fi/attachments/products/oilon/maalampo/Oilon__asennus_ ja_kaytto-ohje.pdf)>. Luettu 18.12.2020.
- 11 Powerpoint-esitys Oilon, tekniikka. Yrityksen sisäinen dokumentti. Oilon Oy
- 12 Structural classification of refrigerants. Verkkoaineisto. Bitzer.  
<<https://www.bitzer-refrigerantreport.com/information/structural-classification-of-refrigerants/>>Luettu 10.7.2020.
- 13 Kukkola, Martti. 2020. Liiketoimintajohtaja. Oilon Oy. Haastattelu 23.10.2020.

- 14 Lämpöpumput. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput#:~:text=%20L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20%201%20Uusi%20L%C3%A4mp%C3%B6pumpujen%20hankintapas%20taloyhti%C3%B6ille,Energianhinnat%20ovat%20nouseet%20pitk%C3%A4ll%C3%A4%20aikav%C3%A4lill%C3%A4%20muutaman...%20More%20](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput#:~:text=%20L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20%201%20Uusi%20L%C3%A4mp%C3%B6pumpujen%20hankintapas%20taloyhti%C3%B6ille,Energianhinnat%20ovat%20nouseet%20pitk%C3%A4ll%C3%A4%20aikav%C3%A4lill%C3%A4%20muutaman...%20More%20)> Luettu 25.11.2020.
- 15 Lämpöpumput. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys <<https://www.sulpu.fi/lampopumput>> Luettu 25.11.2020.
- 16 Pääkaupunkiseudun ilmastopäästöt vähenevät nyt vauhdilla. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.sttinfo.fi/tiedote/paakaupunkiseudun-ilmastopaastot-vahenevat-nyt-vauhdilla?publisherId=4346&releaseId=44628396>> Luettu 25.11.2020.
- 17 HSY: Päästöt vähenevät pääkaupunkiseudulla, mutta vauhti ei riitä. Verkkoaineisto. Kuntalehti. <<https://kuntalehti.fi/uutiset/tekniikka/hsy-paastot-vahenevat-paakaupunkiseudulla-mutta-vauhti-ei-riita/>> Luettu 18.12.2020.
- 18 Kasvihuonekaasupäästöt. Verkkoaineisto. HSY. <[https://public.tableau.com/views/Pkaupunkiseudunkhk-pstt1990-2018/Story1?:language=en&.display\\_count=y&.origin=viz\\_share\\_link&.showVizHome=no](https://public.tableau.com/views/Pkaupunkiseudunkhk-pstt1990-2018/Story1?:language=en&.display_count=y&.origin=viz_share_link&.showVizHome=no)> Luettu 18.12.2020.
- 19 Teollisuuslämpöpumput. Verkkoaineisto. Oilon Oy. <[https://oilon.com/fi/tuotteet/teollisuuslampopumput/?gclid=EAlaIqobChMI0aSpzrLZ6gIV-jqiyCh3W5AiBEAAYASAAEgKlxvD\\_BwE](https://oilon.com/fi/tuotteet/teollisuuslampopumput/?gclid=EAlaIqobChMI0aSpzrLZ6gIV-jqiyCh3W5AiBEAAYASAAEgKlxvD_BwE)> Luettu 18.6.2020.
- 20 Toivonen, Tuomas- 2020. Huoltopäällikkö. Oilon Oy. Haastattelu 1.9.2020.