

Kimmo Koivukangas

HYBRIDLÄMMITYS ASUINKERROSTALOSSA

Poistoilman energian ja kaukolämmön paluuvesienergian yhteiskäyttö lämpöpumpulla

HYBRIDLÄMMITYS ASUINKERROSTALOSSA

Poistoilman energian ja kaukolämmön paluuvesienergian yhteiskäyttö lämpöpumpulla

Kimmo Koivukangas
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma, LVI-tekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä: Kimmo Koivukangas
Opinnäytetyön nimi: Hybridilämmitys asuin kerrostalossa
Työn ohjaaja: Mikko Niskala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021 Sivumäärä: 66 + 8 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun kaupungin vuokrataloyhtiö Oulun Sivakka Oy. Opinnäytetyössä selvitetään 1970-luvulla rakennettuun asuin kerrostaloon asennetun hybridilämmitys-järjestelmän toimintaa. Erityisesti selvityksen kohteena on lämpöpumpun keruupiirijärjestelmä. Keruupiiri ottaa energian poistoilmasta, joka on kohteessa aiemmin ollut kokonaisuudessaan hukka-energiaa. Energiaa voidaan ottaa myös kaukolämmön paluuesipuolelta DHAC-järjestelmällä ja näitä molempia energiavirtoja voidaan tarpeen mukaan yhdistää. Tämän tyyppisiä yhdistettyjä keruupiirijärjestelmiä ei ole aiemmin Suomessa ollut yleisesti käytössä. Työn tavoitteena on selvittää optimoitu käyttö molempien hukkalämpöjen hyödyntämiselle.

Työn kohteena olevaan kiinteistöön asennetut hybridiratkaisut ovat osa EU:n Horizon 2020 -ohjelman Making City -hanketta, jossa on mukana 34 partneria eri puolilta Eurooppaa. Hanke toteuttaa osaltaan Oulun kaupungin ympäristöohjelmaa sekä kaupunkistrategiaa Oulu 2026. Hanke edistää Oulun kaupungin energia- ja materiaalitehokkuuden mukaisia tavoitteita sekä kaupungin hiilineutraalin päämäärän saavuttamista. Kyseisen kohteen hybridilämmitys-järjestelmä on hankittu ja asennettu Oulun Sivakka Oy:n ja Oulun Energia Oy:n yhteistyönä. Pilottikohteen vaikutuksia pyritään hyödyntämään myös muissa kaukolämpökohteissa.

Työn tuloksena tehtiin Excel-ohjelmalla laskuri, joka laskee optimoitua keruupiirien energiankäyttöä käyttötilanteiden mukaan. Laskuri toimii kuukausitason laskentana, mutta sitä on mahdollista laajentaa tuntitason laskentaan. Laskuriin syötetään mm. kohteen energiatarve, poistoilman käyttöaikojen mukaiset asetukset, kaukolämmön ja sähkön ostohinnat sekä CO₂-päästöt/tuotettu energia. Lämpöpumpun tuotto ja sähkönkulutus täytyy mallintaa laskuriin kohdekohtaisesti.

Työn tuloksena todettiin seuraavaa: Päästövähennysten kannalta on erityisen merkityksellistä, että kaikki tuotettu energia käytetään mahdollisimman tarkkaan. Hukkaenergioiden, kaukolämmön paluueden ja poistoilman energioiden optimoidulla hyödyntämisellä voidaan hiilidioksidipäästöt saada lähes puoleen lähtötilanteesta. Vähähiilisyystavoitteen näkökulmasta tämän työn tyyppisiä hankkeita tulee arvioida koko kaukolämmöntuotantojärjestelmä huomioiden. DHAC-järjestelmällä voidaan pudottaa merkittävästi kiinteistöstä lähtevän kaukolämmön paluueden lämpötilaa. Tämän seurauksena kaukolämpöyhtiöiden CHP-tuotanto tehostuu ja pumppauskustannukset laskevat. Kuluttajalähtöisten investointien takaismaksuajoissa voi olla alueellisesti hyvinkin suuria eroja kaukolämpö- ja sähköenergian hintojen alueellisten vaihtelevuuksien vuoksi.

Asiasanat: hybridilämmitys, kaukolämpö, PILP, hukkalämpö, hiilineutraali, kaukolämmön paluuvesi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services

Author: Koivukangas, Kimmo
Title of thesis: Hybrid Heating System on the apartment building
Supervisor: Niskala, Mikko
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021
Number of pages: 66 + 8 appendices

The commissioner of this thesis is the rental housing company of Oulu, Oulun Sivakka Oy. The thesis examines the functioning of the hybrid heating system installed in a residential apartment building in the 1970s. In particular, the focus in the study is on the heat pump collection circuit system. The collection circuit takes energy from the exhaust air. Energy can also be taken from the district heating return water by means of a DHAC system (District Heating After Cooling). These two energy flows can be combined as required. This type of combined collection system has not previously been widely used in Finland. The aim of this work is to find out an optimized method of use for combining these energy flows.

The hybrid heating solutions installed on the property under examination are part of the Making City project of the EU's Horizon program. The transformation of cities towards a low-carbon and smart energy system is a goal of the EU's A H2020 project, the Positive Energy District (PED) concept. The cities involved in the project are committed to building one residential area with a positive energy balance. The pilot cities of the 60-month Horizon 2020 program launched in 2018 are Oulu in Finland and Groningen in the Netherlands.

As a result of the work, the following was stated: It is especially important for emissions reductions that all the energy produced is used as accurately as possible. On a property-by-property basis in an apartment building CO₂-emissions can be reduced by close to half of the initial situation when heat pump of hybrid heating system is used with the optimized utilization of district heating return water and exhaust air energies.

Keywords: hybrid heating, apartment building, exhaust air heat pump, district heating after cooling

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön aihe oli kohteen pilottiluonteisuuden vuoksi erittäin mielenkiintoinen ja osin haasteellinenkin. Haluan kiittää työn toimeksiantajaa Oulun Sivakka Oy:tä mahdollisuudesta olla mukana hybridilämmitysjärjestelmän optimointityössä. Järjestelmän toiminnan optimointia selvitettiin yhdessä työn toimeksiantajan osaavan henkilöstön kanssa. Lisäksi sain tukea ja opastusta hankkeessa mukana olleilta Oulun Energia Oy:n, HögforsGST Oy:n ja VTT:n asiantuntijahenkilöiltä. Suuri kiitos arvokkaan tiedon jakamisesta työhön liittyen kaikille hankkeen osapuolille.

Oulun ammattikorkeakoulusta haluan kiittää työn ohjaaja Mikko Niskalaa ja viestinnän lehtori Pirjo Partasta asiantuntevasta ohjauksesta tässä työssä sekä koko Oamkin henkilöstöä ansiokkaasta opetuksesta opiskelujeni aikana.

Erittäin suuri kiitos läheisilleni saamastani tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Oulussa 29. maaliskuuta 2021

Kimmo Koivukangas

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KIINTEISTÖN JA HANKKEEN LÄHTÖTIEDOT	9
2.1	PILP-DHAC-järjestelmien potentiaali Suomessa	9
2.2	Making City -hanke.....	9
2.3	Kohteena olevan kiinteistön lähtötiedot	10
3	HYBRIDIJÄRJESTELMÄT ENERGIANTUOTANNON NÄKÖKULMASTA	11
4	HYBRIDLÄMMITYSJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA.....	13
4.1	HybridiHEAT-järjestelmä	14
4.2	Kaukolämmitys	15
4.3	Käyttövesi.....	15
4.4	Lämmityspiiri	16
4.5	Hybridijärjestelmän lämpöpumppu	17
4.5.1	Poistoilman lämmöntalteenotto	19
4.5.2	Kaukolämmön paluuveden energia, DHAC.....	20
4.6	Jäteveden lämmöntalteenotto	21
4.7	Aurinkoenergia	21
5	KESKEISET SELVITETTÄVÄT ASIAT, MENETELMÄT JA AINEISTO	22
5.1	Kiinteistön energiantarvelaskenta.....	23
5.1.1	Lämmitysenergian tarve.....	23
5.1.2	Käyttöveden energian tarve	26
5.2	Lämpöpumppuprosessi	27
5.2.1	Kylmäainekierron vaiheet.....	27
5.2.2	Olellaiset mittauskohdat lämpöpumppuprosessin selvittämisen kannalta	29
5.2.3	Kohteen lämpöpumpun prosessin selvittäminen	30
5.2.4	Kompressori.....	35
5.2.5	Painesuhteen vaikutus lämpöpumpun hyötysuhteeseen	36
5.2.6	Kylmäaine R410A	37
5.3	Keruupiirin lämmönsiirtoaineet	37
5.4	Poistoilman hukkaenergian talteenotto.....	38
5.4.1	Ohjeen mukaiset tavoiteilmavirrat	40

5.4.2	Käytössä olevat ilmapirrat	40
5.5	DHAC, kaukolämmön paluuvesienergian hyödyntäminen.....	42
5.6	Hybridijärjestelmän optimointilaskuri Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.....	43
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	44
6.1	Hybridijärjestelmän kattavuus koko energian tarpeesta	44
6.2	Hybridijärjestelmän vaikutus hiilidioksidipäästöihin	48
6.3	Hybridijärjestelmä – ostoenergian vähenemisen taloudellinen vaikutus	49
6.4	Poistoilman ja kaukolämmön paluueden optimaalinen käyttö keruupiirissä.....	51
6.5	Keruupiirin liuoksen virtaamien optimointi	54
6.5.1	Optimoidut keruupiirin virtaamat normaali-ilmanvaihtolanteessa.....	54
6.5.2	Optimoidut keruupiirin virtaamat tehostusilmanvaihtolanteessa	56
6.6	Energiamittareiden kalibrointi	57
6.7	Höyrystyslämpötilan nostaminen	57
6.8	Lämpöpumpun käytön jatkuva maksimointi.....	57
6.9	Automaation merkitys järjestelmässä	58
7	POHDINTA	59
	LÄHTEET	62
	LIITTEET	66

1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään kaukolämmitystä primäärienergianlähteenä käyttävän asuinkerrostalon hybridilämmitysjärjestelmän toimintaan. Työssä keskitytään erityisesti hukkaenergioita hyödyntävän lämpöpumpun optimaaliseen toimintaan. Lämpöpumppujärjestelmän keruupiiriin otetaan hukkaenergiaa poistoilmasta ja järjestelmään on liitetty myös mahdollisuus hyödyntää kaukolämmön paluuvesienergiaa. Kaukolämmön paluuvesienergiaa käyttävää järjestelmää nimitetään tässä työssä laitevalmistajan nimeämällä DHAC-termillä (District Heating After Cooling). Tämäntapaista keruupiirin yhteiskäyttöä ei ole aiemmin yleisesti toteutettu. Keruupiirin energialähteiden yhteiskäyttöä selvitetään teoreettisesti mallintamalla ja mittaamalla rakennusautomaatiosta saadun tiedon avulla.

Työn toimeksiantaja on Oulun kaupungin vuokrataloyhtiö Oulun Sivakka Oy. Työn kohteena olevaan kiinteistöön asennetut hybridiratkaisut ovat osa EU:n Horizon 2020 -ohjelman Making City -hanketta. Tässä kohteessa ja projektissa merkittävänä osallistujana on myös Oulun Energia Oy. Kohteen hybridilämmitysjärjestelmän on toimittanut suomalainen HögforsGST Oy. Työn tavoitteena on tuottaa hyödyllistä tietoa kaikille projektin osapuolille.

Rakennusten energiatehokkuutta ei ole ennen 2000-lukua tarkasteltu nykyisellä vaatimustasolla. EU:n energiatehokkuusdirektiivissä asetettiin 2018 tavoite vähentää primäärienergian kulutusta EU:n tasolla 32,5 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. (1.) Tiukentuneiden määräysten ja päästökaupan asettamien vaatimusten seurauksena hukkaenergioiden hyödyntäminen ja erilaisten päästöttömien energianlähteiden käyttö on lisääntynyt huomattavasti. Lämpöpumppujen tehokas hyödyntäminen on merkittävässä asemassa tulevaisuuden hiilineutraalissa energiantuotannossa.

Tämän työn tavoitteena on optimoida kohteeseen hankitun hybridijärjestelmän lämpöpumpun keruupiirin käyttö siten, että järjestelmän mahdollistama energiantuotannon päästöjen vähennys on mahdollisimman suuri. Järjestelmän kokonaistaloudellisten vaikutusten arviointi on myös tärkeä kiinnostuksen kohde. Työn kohteen pilottiluonteisuuden vuoksi järjestelmän takaisinmaksuaikoihin ei tässä työssä oteta tarkemmin kantaa. Saavutettavaa säästöpotentiaalia verrataan aikaisempaan todellisen ja lämmitystarveluvulla sääkorjatun energiatarpeen mukaan laskettuun kuukausi- ja vuositason kulutukseen.

2 KIINTEISTÖN JA HANKKEEN LÄHTÖTIEDOT

2.1 PILP-DHAC-järjestelmien potentiaali Suomessa

Velvoite poistoilman lämmöntalteenottoon tuli voimaan Suomessa vuonna 2002. Siihen asti rakennetuissa kiinteistöissä ei pääosin ole käytetty poistoilman lämmöntalteenottoa. Maamme nykyisestä asuinkerrostalokannasta suurin osa on rakennettu vuosien 1960–1990 aikana. Kyseisinä vuosikymmeninä rakennetut kerrostalot on tyypillisesti varustettu koneellisella poistoilmanvaihdolla. Yleisesti poistoilmanvaihdon korvausilma otetaan suoraan ulkoilmasta erillisten tai ikkunoihin integroitujen venttileiden kautta. Esilämmittämätön tai ikkunavälissä hyvin vähän esilämmennyt tuuloilma lämmitetään huonelämpötilaan yhdessä rakennuksen tarvitseman muun lämmitystarpeen kanssa. Tavanomainen lämmitystapa tämän ikäluokan kiinteistöissä on perinteinen patterilämmitysjärjestelmä. Kaukolämmitys on asuinkerrostalojen yleisin lämmitysenergiamuoto.

Tyypillisesti tämän ikäluokan kerrostaloissa huonelämpötilaan lämmitetty ilma puhalletaan suoraan ulos hukkalämpönä. Lämpöenergian tämäntyyppiseen hukkaamiseen on vaikuttanut kaukolämpöenergian edullinen hinta. Halvan hinnan on mahdollistanut energiayhtiöiden käyttämien uusiutumattomien ja fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen ja turpeen suhteellisen halpa hinta verrattuna niiden energiantuotantotehokkuuteen. CO₂-päästöjen vähentämisen edistämiseksi rakennettu päästökauppa on hinnoitellut nämä aiemmin edulliset polttoaineet kustannustehottomiksi verrattuna vähemmän energiatehokkaisiin uusiutuviin polttoaineisiin. Sen seurauksena kaukolämmön hintakehitys on ollut nouseva. (2.) 1960–1990-lukujen kerrostaloissa ilmanvaihdon vaatima lämmitysenergiantarve on 36–37 % rakennuksen lämmitysenergiantarpeesta ja sen osuus kaikista rakennosien lämpöhäviöistä on ylivoimaisesti suurin (3, s. 19).

2.2 Making City -hanke

Kaupunkien muutos kohti vähähiilistä ja älykästä energiajärjestelmää on Euroopan unionin A H2020 projektin Positive Energy District (PED) -konseptin mukainen tavoite. Hankkeessa mukana olevat kaupungit ovat sitoutuneet rakentamaan yhden energiataseeltaan positiivisen asuinalueen. 2018 aloitetun 60 kuukautta kestävä Horizon 2020 -ohjelman pilottikaupunkeina ovat Suomesta

Oulu ja Hollannista Groningen. Cartifin tutkimuslaitos Espanjasta toimii hankkeen pääkoordinaattorina. Hankkeeseen liittyy myöhemmin kuusi muuta kaupunkia eri puolilta Eurooppaa. (4.)

Oulun projektikonsortiossa mukana ovat Oulun kaupungin yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut, Oulun Energia Oy, Oulun Sivakka Oy, YIT Rakennus Oy, Arina kiinteistöt Oy, Jetitek Oy, VTT Oy ja Oulun Yliopisto. Vuosien 2019–2023 aikana Oulun projektikonsortion kokonaiskustannukset ovat hankkeessa noin 5,2 miljoonaa euroa. EU-rahoituksen osuus tukikelpoisiin kustannuksiin on 70–100 %.

Oulussa pilottikohde on Kaukovainion kaupunginosassa. Kohteessa tuotetaan energiaa kauppa-
liikkeiden jäähdytysratkaisujen lauhdelämpöjä ja kiinteistön hukkalämpöjä hyödyntämällä. Hankkeen tavoitteena on saavuttaa lähes energiaomavaraisuus vuositasolla. Hanke toteuttaa osaltaan Oulun kaupunkistrategiaa 2026 ja sen ympäristöohjelmaa sekä edistää kaupungin hiilineutraalin tavoitteen saavuttamista. (5.)

2.3 Kohteena olevan kiinteistön lähtötiedot

Tämän opinnäytetyön kohteena on Making City -hankkeessa mukana oleva Oulun Kaukovainion kaupunginosassa sijaitseva kerrostalo. Kiinteistön omistaa Oulun Sivakka Oy. Rakennus on valmistunut vuonna 1972 ja siihen on suoritettu perusparannus vuosina 1999–2002. Rakennus on poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän kannalta edullinen ns. pistetyyppinen talo, eli yksirapainen. Rakennuksessa on kellarikerros, jossa sijaitsee VSS-tilat, yhteiset pesutilat, huoneistovarastot, kerhotila ja lämmönjakuhuone. Maanpäällisessä tasossa toimii Oulun kaupungin varhaiskasvatuksen ylläpitämä päiväkoti. Päiväkodin tilojen käytössä on erillinen lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto. Päiväkodin ilmanvaihdon nestekiertoinen jälkilämmityspatteri on kytketty rakennukseen asennettuun hybridilämmitysjärjestelmään.

Asuinkerroksia talossa on 7 kpl, ja asuntojen lukumäärä on yhteensä 56 kpl. Asuinhuoneistojen yhteenlaskettu pinta-ala on 1897 m². Kiinteistön bruttoneliöt ovat 2864 m² ja lämmin tilavuus on 8930 m³. (6.)

3 HYBRIDIJÄRJESTELMÄT ENERGIANTUOTANNON NÄKÖKULMASTA

Kaukolämmöntuottajat ovat jatkuvasti kasvavan tarkastelun alla käyttötehokkuuden ja ympäristökysymysten osalta. Kustannustehokkuuspaineet ovat vaativat, ja toisaalta omistajatahot odottavat taloudellista tulosta. Kaukolämpöyhtiöt ovat useimmiten kaupunkien ja kuntien omistamia liikelaitoksia. Laitosten merkitys on infrastruktuuria ja tuloksentekeykyä tarkasteltaessa erittäin suuri koko yhteiskunnalle. Kaukolämpölaitosten tulouttavat varat ovat useissa kaupungeissa verotulojen lisäksi merkittävä tuloerä (7).

Jakeluverkostoon on vuosikymmenien aikana investoitu huomattavat määrät varallisuutta, ja se on yhdessä tuotantolaitosten kanssa kallein kuluerä kaukolämpöyhtiöille. Olemassa olevalla keskitetyllä lämmöntuotantojärjestelmällä on huomattavasti suuremmat mahdollisuudet erilaisten tuotantomuotojen käyttöönottoon kuin yksittäisillä kiinteistökohtaisilla järjestelmillä. Yhteiskunnan huoltovarmuuden näkökulmasta suuri merkitys on myös sillä, että kaukolämmityksen toimitus- ja toimintavarmuus on pitkäaikaisten tilastojen mukaan erittäin korkealla tasolla. (8, s. 16.)

Hiilineutraaliuden tavoittelussa on kaukolämpöyhtiöiden olemassa olevat valmiit jakeluverkot järkevää hyödyntää. Euroopan unioni on nostanut kaukolämmön yhdeksi merkittäväksi keinoksi päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa (9, s. 8–9). Kaukolämpöyhtiöiden tehokkuus energiantuotannossa perustuu sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. CHP- eli yhteistuotantolaitosten hyötysuhde voi olla yli 90 %. CHP-laitosten osuus tuotetusta kaukolämmöstä on yli 70 % (3, s. 12). Isossa kuvassa kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuratkaisuihin siirtyminen laskisi yhteistuotannon hyötysuhdetta merkittävästi, koska lauhdelämpö jouduttaisiin ajamaan esimerkiksi mereen. Sähkön tai kaukolämmön erillistuotanto on jo lähtökohtaisesti hyötysuhteeltaan huomattavasti epäedullisempää. Kiinteistökohtaisten matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämisessä on kokonaispäästöjen kannalta tärkeä merkitys sillä, mikä on lämpöpumpuissa käytettävän sähkön tuotantomuoto (10, s. 8).

Hybridijärjestelmä voi hyvin toimiessaan pienentää kiinteistön lämmitykseen käyttämää ostoenergiantarvetta yli puoleen verrattuna aiempaan kaukolämpöenergiaa käyttävään järjestelmään. Maa-lämpöjärjestelmillä hyötysuhde voi olla suurempikin. Yksittäistä kiinteistöä päästövähennysnäkökulmasta tarkasteltaessa edellä mainittu on erinomainen asia. Kaukolämmitysjärjestelmä on kui-

tenkin rakennettu palvelemaan mahdollisimman suurta joukkoa erilaisia kiinteistöjä ja kaukolämpöyhtiön näkökulmasta asiaa on tarkasteltava kokonaisuutena. Poistoilmalämpöpumppukohteen poistoilmasta saatava energia voi olla huomattavasti vähäisempi kovilla pakkasjaksoilla kuin lauhemmalla säällä. Toisin sanoen silloin kun energiaa kuluu eniten, sitä on saatavissa vähiten.

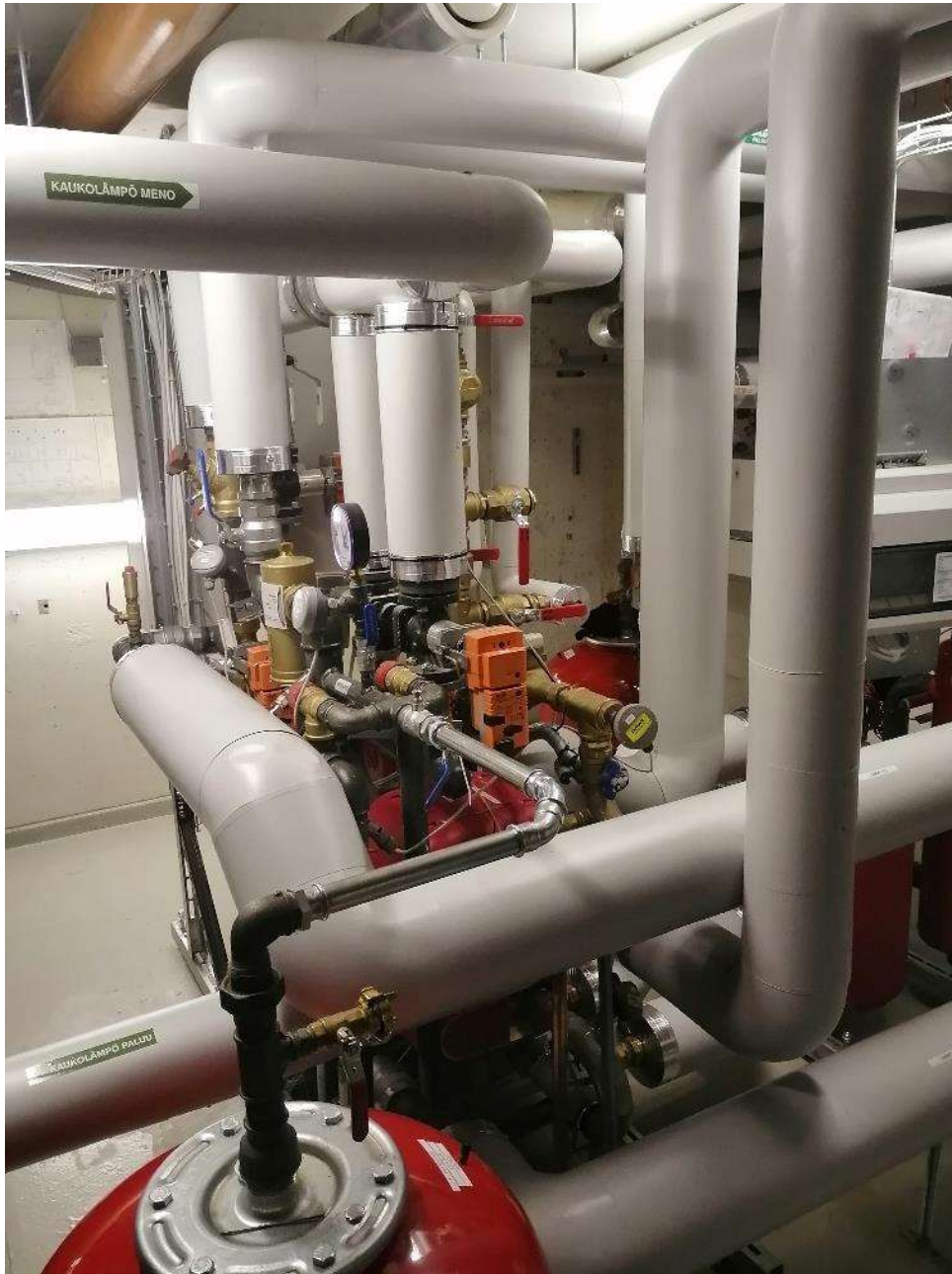
Hybridilämmityskohteen energiantarve on laskettava samalla tavalla kuin muillakin lämmitystavoilla toimivien rakennusten. Hienoinkaan järjestelmä ei itsessään vähennä rakennuksen lämmitysenergian tarvetta, mutta ostoenergian tarvetta ratkaisut voivat vähentää. Rakennuksen lämmitysenergian tarve lasketaan sijaintipaikkakunnan mukaisen mitoitustilanteen perusteella lasketun tehontarpeen mukaan (11). Kaukolämpöyhtiön investointi-, huolto- ja ylläpitokustannukset ovat kaukolämpöön liitettyä kiinteistöä kohden samankaltaiset riippumatta siitä, onko hybridilämmitysjärjestelmää olemassa vai ei.

Tämän työn kohteena olevalla hybridilämmitysjärjestelmällä kiinteistöistä verkostoon palaavan kaukolämmön jäähtymä saadaan hyvin suureksi, kun otetaan kaukolämmön paluuviesienergiaa lämpöpumpun käyttöön. Koko verkoston paluulämpötilan merkittävä laskeminen edellyttää useita tämän työn kohteen kaltaisia järjestelmiä eri puolille kaukolämpöverkosta. Kaikesta jäähtymän tehostamisesta on kuitenkin hyötyä. Matalampi paluuviesin lämpötila kaukolämpöverkossa tuo seuraavia etuja kaukolämmöntuotannolle:

- Pumppauksen tarve vähenee, koska tarvittava vesivirta on pienempi.
- Lämmönhukka kaukolämpöverkosta vähenee, koska paluuputken ja ympäröivän maan lämpötilaero pienenee.
- Savukaasuista saatava hukkalämpöjen osuus kasvaa, koska savukaasupesureiden käyttö tehostuu.
- Yhteistuotannossa sähkön tuotantoa saadaan lisättyä. (12, s. 16–20)

4 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA

Tässä osiossa käydään järjestelmän havainnollistamisen vuoksi läpi kiinteistöön asennetun hybridilämmitysjärjestelmän kaikki osat. Kuvassa 1 on näkymää kohteen lämmönjakuhuoneesta.

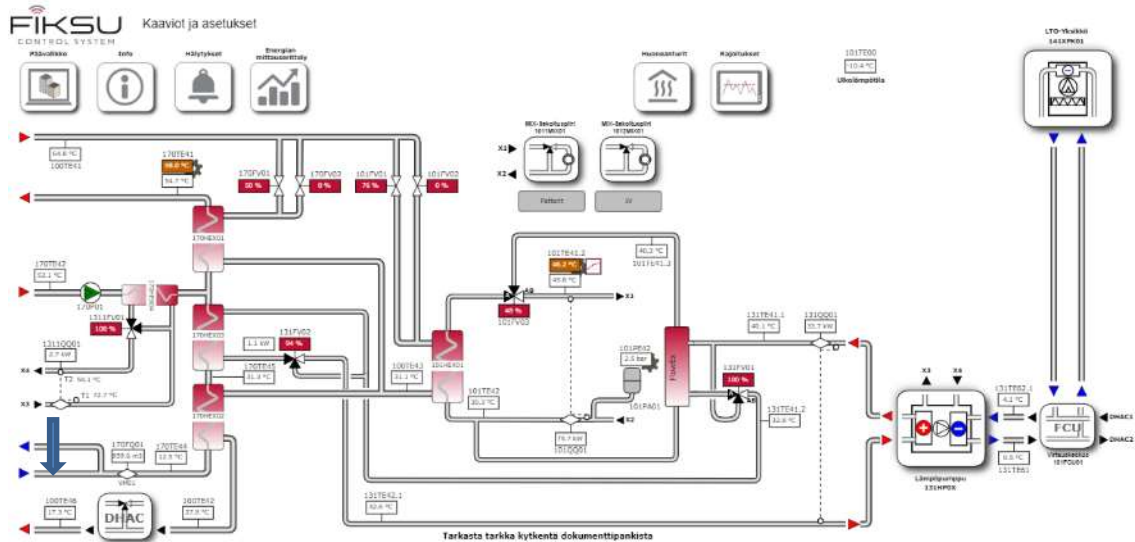


KUVA 1. Kohteen lämmönjakuhuone

4.1 HybridiHEAT-järjestelmä

Kiinteistöön on asennettu HögforsGST:n toimittama HybridiHEAT-järjestelmä. Järjestelmä sisältää kaukolämmön asiakasjärjestelmäkokonaisuuden, joka vastaa kaikesta kiinteistön lämmitysenergiantarpeen siirrosta olemassa olevaan alkuperäiseen kiinteistön lämmitysverkkoon sekä tarvittavasta käyttöveden lämmityksestä. HögforsGST:n kehittämä Fiksu-ohjausjärjestelmä ohjaa koko lämmitysjärjestelmän toimintaa. Fiksu-ohjausjärjestelmää voidaan ohjata ja säätää etänä Fiksu Web -käyttöliittymällä HybridiHEAT-järjestelmään konfiguroidun Modbus-rajapinnan kautta. (13.)

Havainnollistamisen helpottamiseksi hybridijärjestelmän eri osioista otettiin kuvakaappauksia Fiksu-ohjausjärjestelmän näyttöikkunasta (14). Kuvassa 2 nähdään HybridiHEAT-järjestelmän kaavio automaationäkymässä. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto sijaistaa suurehkon tilantarveaatiimuksensa vuoksi eri tilassa kuin muu lämmitysjärjestelmä. Jäteveden lämmönsiirtimellä esilämmitetty käyttövesi tulee käyttövesisiirtimille kuvassa 2 näkyvän sinisen nuolen osoittamasta kohdasta. Hybridijärjestelmä on asennettu Energiateollisuus ry:n suunnitteluohjeen 2017, esimerkkikytkentä 1 mukaisesti (liite 1).



KUVA 2. HybridiHEAT-hybridilämmitysjärjestelmän keskeiset osiot Fiksu-ohjausjärjestelmän Kaaviot ja asetukset -näkyvässä, HögforsGST Oy (Muokattu) (14)

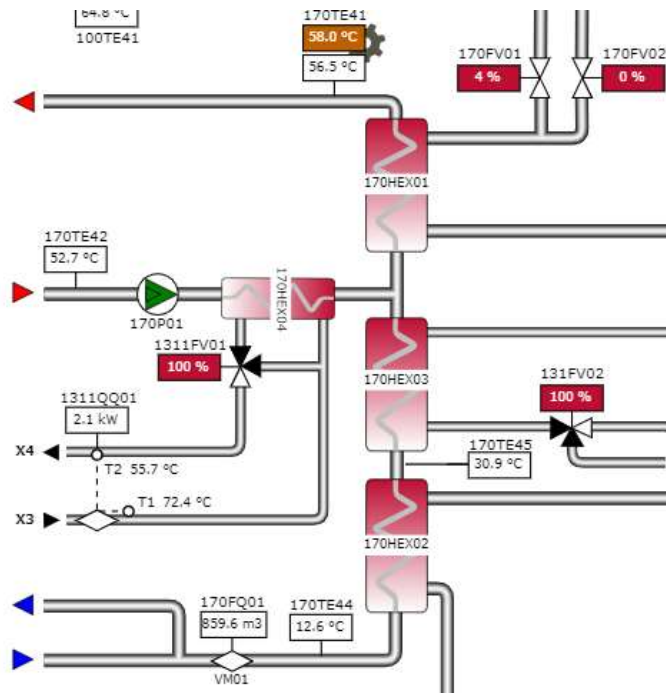
4.2 Kaukolämmitys

Kiinteistö on liitetty kaukolämpöverkkoon rakennuksen käyttöönottovaiheessa. Kaukolämmitys on edelleen kiinteistön päälämmitysmuoto. Kaukolämpölaitteet on mitoitettu paikkakunnan mitoituslämpötilan -32 °C :n mukaan lasketun kiinteistön tehontarpeen perusteella (11). Kiinteistön kaukolämmitysjärjestelmä on uusittu tämän projektin yhteydessä. Kiinteistön patteri-, iv- ja käyttövesiverkostoja ei ole uusittu tämän projektin yhteydessä.

4.3 Käyttövesi

Kiinteistön käyttäjien kuluttama lämmin käyttövesi lämmitetään haluttuun lämpötilaan kaukolämpöverkon vedellä. Lämmin käyttövesi esilämmitetään luvussa 4.4. esitetyllä jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmällä. HybridiHEAT-järjestelmä ohjaa käyttöveden esilämmitykseen sen lämpöpumpulla tuotetun osan, jota ei rakennuksen lämmitykseen tarvita. Käyttöveden esilämmitys tapahtuu kuvassa 3 näkyvän lämmönsiirtimen 170HEX03 välityksellä. Lämpimän käyttöveden kiertoa lämmitetään lämpöpumpun tulistuksenpoistovaihtimesta saatavissa olevaa korkeaa lämpötilaa hyödyksi käyttäen. LKV-lämmönsiirtimelle ohjataan haluttu virtaama kuvassa 3 näkyvän 1311FV01-kolmitieventtiilin avulla.

Kiinteistön lämpimän käyttöveden tarve on mitoitettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D1:n mukaisesti. Mitoitusvirtaamalla $1,5\text{ l/s}$ lämmönsiirtimien 170HEX01 ja 170HEX02 yhteisteho on 300 kW . Käyttötilanteiden suuren vaihtelevuuden vuoksi järjestelmä on varustettu kuvassa 3 näkyvän mukaisesti kahdella ensiöpuolen 2T-moottoriventtiilillä, joiden kvs-arvot ovat 170FV01: kvs $0,63$ ja 170FV02: kvs $6,3$. Mitoituksessa on käytetty tavanomaisia mitoituslämpötiloja $10/58\text{ °C}$, koska lämpimän käyttöveden riittävyys halutaan varmistaa kaikissa olosuhteissa siitä huolimatta, että kohteessa on useita käyttöveden esilämmitysmuotoja. (13.) Asunnot on tämän projektin yhteydessä varusteltu huoneistokohtaisilla etäluettavilla vesimittareilla (6).

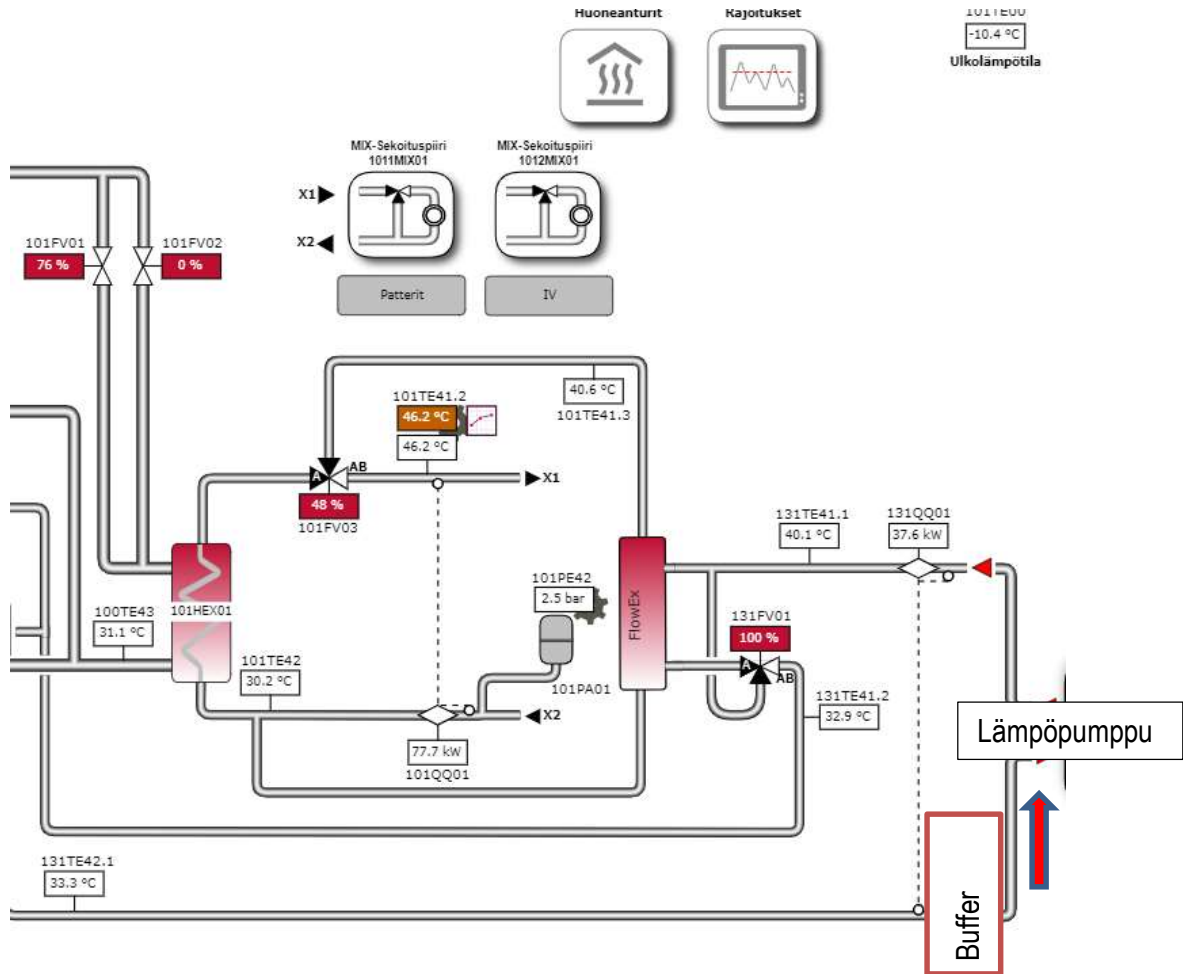


KUVA 3. Käyttöveden lämmitys Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymässä (14)

4.4 Lämmityspiiri

Lämmitysjärjestelmä käyttää ensisijaisesti lämpöpumpun tuottamaa lämmitysenergiaa. Järjestelmä on varustettu paluupuolelle sijoitetulla kuvassa 4 Buffer-tekstillä merkatulla 500 litran puskurivaraajalla. Lämmityspiiri on joko suoraan lämmityspiiri tai se toimii esisäätöpiirinä jälkisäätöpiireille. Jälkisäätöpiirit ovat patteripiiri ja/tai päiväkodin iv-piiri. Patteripiirin mitoitusteho on 175 kW ja iv-piirin mitoitusteho 12,6 kW. IV-jälkilämmityspatterin teho on 9 kW. Tehontarpeen mitoittavat lämpötilatasot ovat molemmissa jälkisäätöpiireissä 70/40 °C. (13.) Lämmitysjärjestelmän patteriventtiilit uusittiin ja verkosto tasapainotettiin talvella 2021 (6).

Lämpöpumpulta saatavan tehon lisäksi tarvittava lisäteho otetaan kaukolämpövedestä avaamalla Fiksu-järjestelmän ohjaamana kaukolämmön ensiöpuolen venttiileitä 101FV01, kvs 0,63 ja tarvittaessa 101FV02, kvs 2,5. Edellä mainitun toiminnan kanssa samanaikaisesti lämmityspiirin kolmitieventtiiliä 101FV03 avataan, jolloin lämmityspiirin virtaama ohjautuu menemään kaukolämpösiirtimen 101HEX01 kautta. Järjestelmän vaatiman säädettävyyden mahdollistamiseksi kaukolämmön ensiöpuolella on kaksi erikokoista 2T-moottoriventtiiliä. (Kuva 4.) (13.)

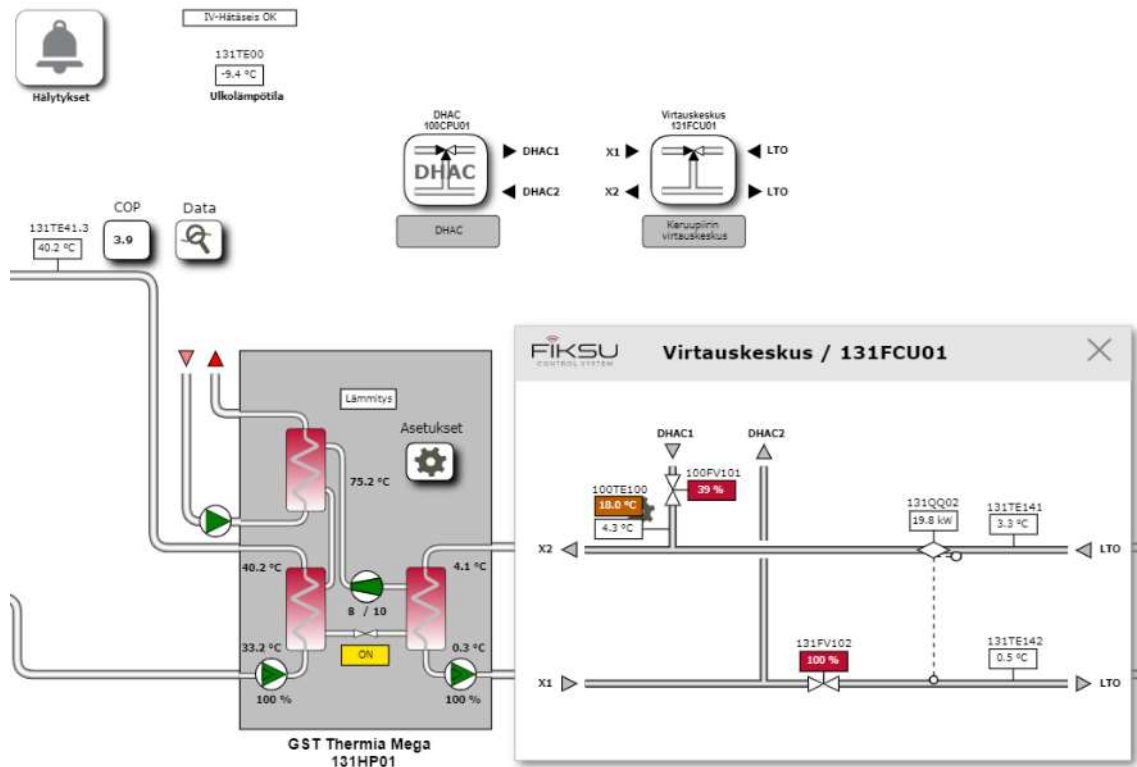


KUVA 4. Hybridilämmityspiiri Fiksu-ohjausjärjestelmän näkyvässä (Muokattu) (14)

4.5 Hybridijärjestelmän lämpöpumppu

Kiinteistöön on asennettu GST Högfors Oy:n toimittaman HybridHEAT-järjestelmän osana ruotsalaisvalmisteinen Thermia Mega M -lämpöpumppu. Lämpöpumpussa käytetään kylmäainetta R410A. Lämpöpumpun höyrystimen energiasyötteenä käytetään keruupiiristä saatavaa poistoilman ja kaukolämmön paluuveden energiaa. Molempia energialähteitä voidaan käyttää yksin tai molempia yhdessä. Virtauskeskuksen automatiikan, venttiileiden ja keruupiirin pumppujen avulla säädetään haluttu virtaama keruupiirijärjestelmässä.

Keruupiirin virtaamalla ja toisaalla lämmityspiirin virtaamalla säädetään haluttu lämpöpumpun tuotama teho lämmitysjärjestelmään. Lämpöpumpun kompressori on invertteriohjattu, jolloin tehonsäätö on mahdollisimman optimaalinen. Lämpöpumpun toimintaa voidaan ohjata ja säätää kuvassa 5 nähtävien Fiksu-ohjausjärjestelmän kautta saatavien arvojen avulla. (13.)



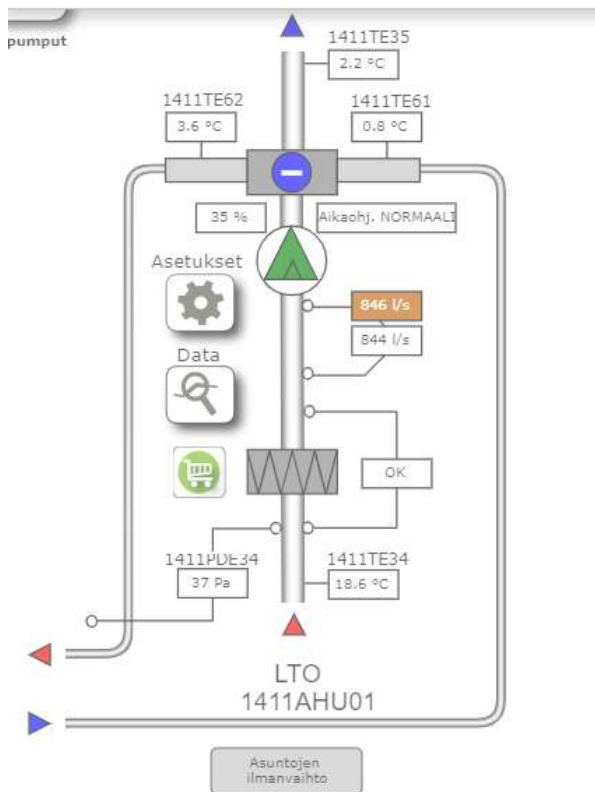
KUVA 5. Lämpöpumppu ja keruupiirin virtauskeskus, Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymä (14)

4.5.1 Poistoilman lämmöntalteenotto

Kiinteistöön on asennettu kuvassa 6 näkyvä poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä. Vesikatolle on asennettu poistoilman lämmöntalteenottolaite, HögforsGST:n valmistama RSP LTO 1000-SV. Laitteen laskennallinen maksimilämmöntalteenottoteho on 34 kW. Laskennallinen poistoilman nimellisvirtaama on 1600 l/s ja lämpötilatasot ilmalle 21–4,4 °C. Keruupiirin laskennallinen nimellisvirtaama on 2,36 l/s ja lämpötilatasot nesteelle 0–4 °C. Talteenottokennosto on mikrokanava-tyyppinen (15). Poistoilman suodatinmoduuli on asennettu vesikaton alapuolella olevaan ullakkotila-huoneeseen ja suodatintyyppi on G4. Huoneistoista poistettavasta ilmasta energia otetaan lämpöpumpun keruupiiriin. Keruupiirin lämmönkeruunesteenä käytetään propyleeniglykolia, jonka sekoitussuhde veteen on 30 til-%. (13.)



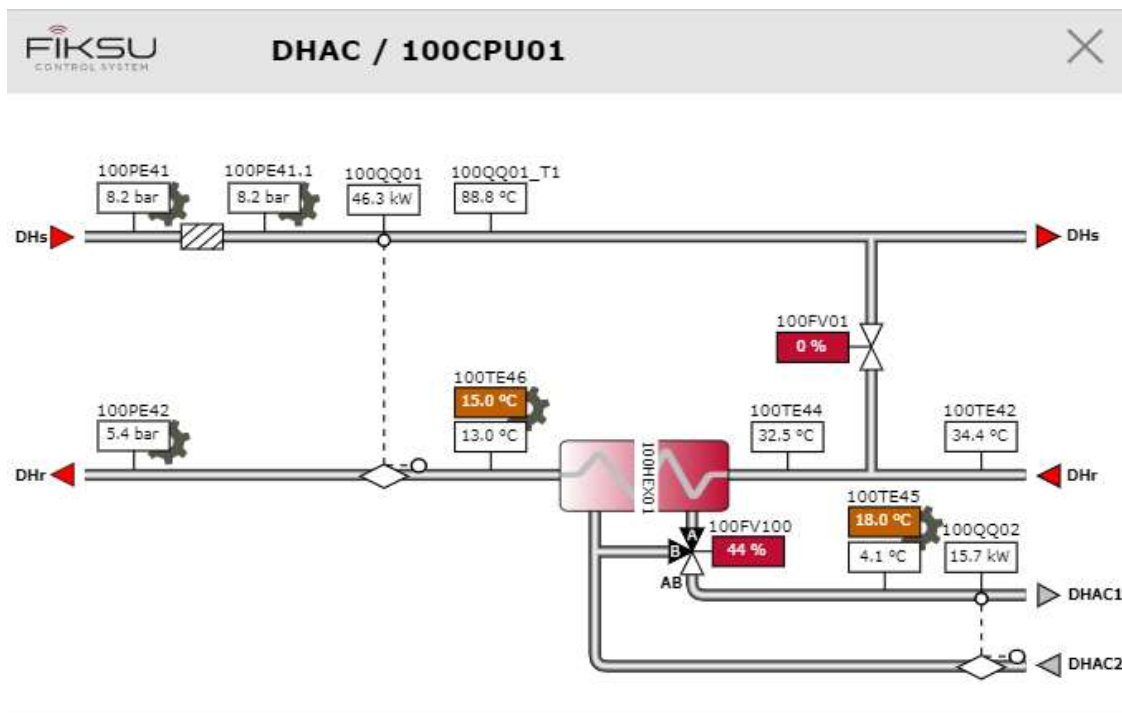
Puhaltimen ottoteho: 166 W
Kulutettu sähköenergia: 2577 kWh
SFP luku: 0.2 kW / m³/s



KUVA 6. Poistoilman lämmöntalteenotto Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymässä (14)

4.5.2 Kaukolämmön paluuveden energia, DHAC

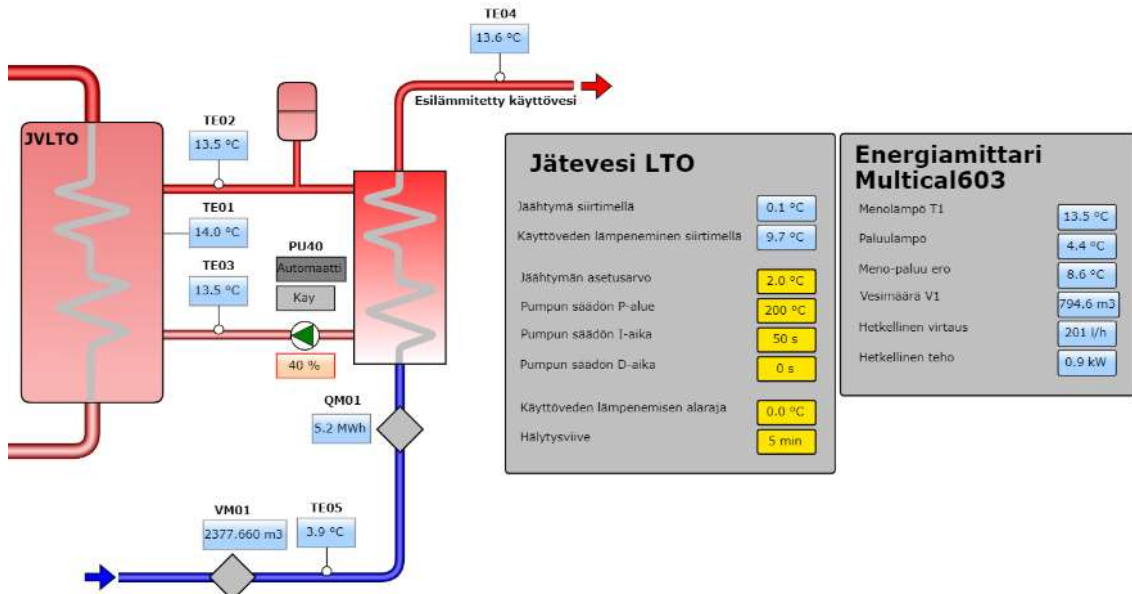
Lämpöpumpun keruupiirin lämmönkeruunesteen propyleeniglykolin virtaus voidaan ohjata kokonaan tai osittain ottamaan energiaa kaukolämmön paluuvdestä. Kaukolämmön paluuvesipuolelle on asennettu kuvassa 7 näkyvä lämmönsiirin, jonka kautta keruupiiriin otettavaa energiamäärää ohjataan kolmitieventtiilin avulla. Kolmitieventtiili 100FV100 säätelee virtaamaa kuvassa 7 näkyvän asetus kaukolämmön paluuveden 100TE46 lämpötilamittauksen perusteella. Kaukolämmitysjärjestelmän ensiöpuolelta on mahdollisuus ottaa suoraan ohitusventtiiliin 100FV01 kautta energiaa lämpöpumpun keruupiirin lämmönsiirtimelle. (13.)



KUVA 7. DHAC-lämmönsiirin Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymässä (14)

4.6 Jäteveden lämmöntalteenotto

Kiinteistöön on asennettu passiivinen jäteveden energian talteenotto. Jätevedestä saatavalla energialla esilämmitetään kiinteistön lämmintä käyttövettä. Kuvassa 8 nähtävästä mittauksesta QM01 voidaan nähdä LTO:n kumulatiivinen energiantuotto toukokuusta 2020 helmikuuhun 2021. Tässä työssä ei huomioida jätevedestä saatavan energian tuomaa säästöä ja päästövähennystä.



KUVA 8. Jäteveden LTO Ounet-rakennusautomaation grafiikkanäkymässä (16)

4.7 Aurinkoenergia

Oulun Energia Oy asentaa rakennukseen vuoden 2021 aikana aurinkopaneelijärjestelmän, joka sisältyy Making City -hankkeen tähän kiinteistöön kohdistettuun osuuteen. Kiinteistön etelään suuntautuvalla seinällä asennetaan nimellisteholtaan 20 kW:n aurinkopaneelit. Seinälle asennettavasta järjestelmästä saatavaa tehoa käytetään ensisijaisesti lämpöpumppujärjestelmän tehontarpeeseen. Lämpöpumpun käytöltä ylijäävä sähkö syötetään valtakunnalliseen sähkönjakeluverkkoon. Kiinteistön katolle asennetaan nimellisteholtaan 10 kW:n aurinkopaneelijärjestelmä. Katolle asennettavasta järjestelmästä saatu teho käytetään ensisijaisesti talon yhteistilojen käyttöön. Yhteistilojen käytön jälkeen ylijäävä sähköntuotanto syötetään valtakunnalliseen sähkönjakeluverkkoon. (17.)

5 KESKEISET SELVITETTÄVÄT ASIAT, MENETELMÄT JA AINEISTO

Making City -hankkeen tavoitteena on edistää vähähiilisyttä. Tämä tulee luonnollisesti tapahtua myös siten, että se on taloudellisesti mahdollisimman kannattavaa. Taloudellisella näkökulmalla on tärkeä merkitys hankkeen tulosten skaalautumisessa muihin vastaaviin kohteisiin. Hankkeen kohteena olevaan kiinteistöön asennetun hybridijärjestelmän halutaan toimivan mahdollisimman optimaalisesti edellä mainitut seikat sekä laitteiston elinkaariajattelu huomioiden.

Järjestelmän optimaalisen toiminnan selvittämiseksi on keskeistä mitoitaa mahdollisimman tarkat virtaamat keruupiirissä. Mitoituksessa täytyy huomioida kiinteistön energiantarve ja poistoilman käyttötila, normaali- tai tehostuspoisto. Keruupiirin virtaamat täytyy laskea erilaisille vaihtoehdoille sen mukaan, otetaanko energiaa

- poistoilmasta
- DHAC-siirtimen välityksellä kaukolämmön paluuedestä tai
- molempia edellä mainittuja samanaikaisesti hyödyntäen.

Työssä haluttiin myös selvittää järjestelmän kokonaisyöty tilanteessa, kun keruupiiriin otetaan energiaa kaukolämmön kuumalta menopuolelta ohitusventtiilin kautta DHAC-siirtimen välityksellä. Tämänkaltaisella toiminnalla voidaan nostaa höyrystimen lämpötilatasoa, ja pudottaa kylmäainekierron painesuhdetta. Lämpöpumpun kompressorin sähkön ottoteho olisi silloin mahdollisimman pieni. Toisaalta tämän kaltainen järjestelmän käyttötapa heikentää poistoilmaenergian hyödyntämistä.

Kaukolämmön paluuesienergian käytön optimoimiseksi täytyy selvittää kaukolämmön paluueden alin mahdollinen lämpötilataso DHAC-siirtimen jälkeen. Lisäksi haluttiin selvittää, onko jatkuvan maksimitehon otto lämpöpumpulta kannattavaa.

Tutkimustyön tekemistä varten selvitettiin kiinteistön energiankulutusta todellisten toteutuneiden kulutusmittausten perusteella. Lämpöpumpun toimintatiloja testattiin erilaisilla höyrystymislämpötiloilla ja selvitettiin erilaisten variaatioiden energian kulutus–tuottosuhdetta. Lämpöpumpun ja hybridijärjestelmän kokonaisuuden toteutumia seurattiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä saadun tiedon ja

trendien avulla. Excel-laskentaohjelmalla laadittiin kuukausitason laskentamallilla laskuri, jossa erilaisia keruupiirin ajotiloja voidaan simuloida. Laskuri laskee kuukauden keskilämpötilan ja energiankulutuksen mukaan hiilidioksidipäästöjen vaikutusarvioinnin ja taloudelliset vaikutukset erilaisilla ajotiloilla. Hybridilämmitysjärjestelmässä jokainen jossakin kohtaa järjestelmää tehty säätötoimenpide vaikuttaa toisaalla, joko yhdessä tai useammassa kohtaa. Selvitetyissä kohdissa pyrittiin huomioimaan kaikkien järjestelmän kannalta keskeisten toimijoiden merkitystä kokonaistoiminnalle.

5.1 Kiinteistön energiantarvelaskenta

Kiinteistön energiantarve selvitettiin toteutuneiden kulutustietojen perusteella. Energiankulutustietoja tarkasteltiin vuosilta 2014–2019. Jokaisen vuoden kulutustiedot normeerattiin vastaamaan paikkakunnan vertailuvuoden energiankulutusta (18). Normeeratuista kulutustiedoista laskettiin edellä mainittujen vuosien mukaan keskiarvot kuukausi- ja vuositasolla. Laskettaessa hybridijärjestelmän optimoitua käyttöä käytettiin kuukauden keskilämpötiloina Suomen ympäristöministeriön rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa varten kehitetyn nykyistä ilmastoa vastaavan testivuoden lämpötila-arvoja. Suomi on jaettu energiankulutustarkastelussa neljään lämpötilavyöhykkeeseen (19). Tämän työn tarkastelussa käytettiin lämpötilavyöhykkeen III arvoja. Arvot perustuvat tarkasteluvuosien 1981–2009 Ilmatieteen laitoksen säähavaintoaseman mittauksiin Jyväskylän lentoasemalla (20). Lämpötilavyöhykkeen III mukaiset kuukauden keskilämpötilat ovat katsottavissa liitteessä 2.

Energiankulutuksen seurannan ja sijaintipaikkakunnasta riippumattoman vertailun helpottamiseksi on tehty työkalu, jossa rakennuksen toteutunut energiankulutus normeerataan vertailuvuosien 1981–2010 ja laskennassa olevan vuoden paikkakunnan vertailuvuoden arvoihin. Normeeraus tehdään Jyväskylän arvoihin vertailtaessa rakennuksen energiankulutusta valtakunnallisesti. Lämmitystarveluvun laskennassa ei huomioida päiviä, joiden keskilämpötila ylittää keväällä +10 °C ja syksyllä +12 °C. (18.)

5.1.1 Lämmitysenergian tarve

Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen kaukolämmön osuuden normeerauslaskenta suoritettiin kaavan 1 mukaisesti jokaiselle tarkastelussa olevalle vuodelle. Kaikkien tarkastelussa olevien vuosien normeeratut energiankulutukset näkyvät liitteessä 3 olevasta Excel-laskurin tulosteesta.

Lämmityksen jälkisäätöpiirien pumppujen käyttämää sähköenergiaa ei ole laskennassa huomioitu. Niiden osuus lämmityksen kokonaisenergiankulutuksessa ei ole kovin merkittävä. Vertailtaessa hybridilämmityskohteen tuomaa muutosta kokonaisenergiankulutukseen niiden kuluttama osuus on likimain sama.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \times Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad \text{KAAVA 1}$$

Normeerauksessa ei huomioida lämpimän käyttöveden kuluttamaa energiaa, koska säätilan vaihtelu ei vaikuta sen kulutukseen. Sen osuus täytyy vähentää kokonaiskulutuksesta kaavan 2 mukaisesti. Lämpimän käyttöveden osuuden laskenta esitetään luvussa 5.1.2. Kaavoissa käytettyjen termien selitteet ovat taulukossa 1.

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad \text{KAAVA 2}$$

TAULUKKO 1. Lämmitysenergian normeerauksessa käytettyjen kaavojen selitteet

Termi	Selite	Yksikkö
Q_{norm}	Rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus	[MWh]
$Q_{toteutunut}$	Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia	[MWh]
Q_{kok}	Rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus	[MWh]
$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$	Käyttöveden lämmittämisen vaatima energia	[MWh]
$S_N \text{ vpkunta}$	Normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla	[°Cvrk]
$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$	Toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla	[°Cvrk]

Kaavojen 1 ja 2 mukaisesti laskettiin esimerkivuosi 2019 kaukolämmön kulutuksen osalta, kun kokonaiskulutus oli 332,87 MWh ja lämpimän käyttöveden kulutuksen osuudeksi arvioitiin 68,29 MWh.

$$Q_{toteutunut} = 332,87 \text{ MWh} - 68,29 \text{ MWh} = 264,7 \text{ MWh}$$

$$Q_{norm} = \frac{5057 \text{ °Cvrk}}{4862 \text{ °Cvrk}} \times 264,7 \text{ MWh} + 68,29 \text{ MWh} = 343,6 \text{ MWh}$$

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseksi saatiin taulukon 2 mukaisesti 354,3 MWh vuodessa. Rakennuksen normeerattu lämmitysenergiankulutuksen osuus on ollut kuuden vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 286 MWh vuodessa. Rakennuksen huoneistoilmanvaihdon vaatima lämmitysenergiantarve on noin 90 MWh vuodessa.

TAULUKKO 2. Kohteen normeerattujen energiakulutusten keskiarvot vuosilta 2014–2019

Normeerattujen energiakulutusten keskiarvot vuosilta 2014–2019				
Ulkolämpötilat nykyistä ilmastoa vastaavan testivuoden, alue III				
[h]	[kk]	kokonaiskulutus [MWh]	käyttövesi [MWh]	kk UT [°C]
744	Tammi	55,9	5,8	-8,00
672	Helmi	49,9	5,2	-7,10
744	Maalis	43,5	5,8	-3,54
720	Huhti	28,0	5,6	2,42
744	Touko	18,8	5,8	8,84
720	Kesä	8,1	5,6	13,39
744	Heinä	5,7	5,7	15,76
744	Elo	7,2	5,8	13,76
720	Syys	15,4	5,6	9,18
744	Loka	29,2	5,8	4,07
720	Marras	41,2	5,6	-1,76
744	Joulu	51,4	5,8	-5,92
Koko	a´	354,3	68,2	3,43
vuosi	Lämmitysverkko [MWh]		286,1	
	Veden lämmitys (%-osuus)		19,3 %	

Rakennuksen lämpöindeksin avulla voidaan vertailla eri puolilla Suomea olevien rakennusten lämmitysenergian kulutusta, kun normeeraus on tehty valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään. Siinä kaavan 1 mukaisesti laskettu Q_{norm} kerrotaan Ilmatieteenlaitoksen määrittämällä paikkakunta-kohtaisella kertoimella k_2 . K_2 on Oululle 0,92 (21). Normeerattu kokonaisenergiankulutus jaetaan kaavan 3 mukaisesti rakennuksen lämmitettävällä tilavuudella. Kohteen lämpöindeksi 36,5 kWh/m³ on ollut jo ennen hybridilämmityksen asennusta erinomainen vertailtaessa sitä keskimääräiseen saman ikäluokan suomalaisen kerrostalokantaan. Keskimääräinen lämpöindeksi on tämän ikäluokan kerrostaloissa 45–65 kWh/m³/vuosi. (3, s. 20.)

$$\text{Lämpöindeksi} = \frac{k_2 \times Q_{norm}}{V_{rakennus}} \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\text{Lämpöindeksi} = \frac{0,92 \times 354\,300 \text{ kWh/vuosi}}{8930 \text{ m}^3} = 36,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} / \text{vuosi}$$

5.1.2 Käyttöveden energian tarve

Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen mittaus tulisi suorittaa todellisen mittauksen perusteella. Mikäli mittausta ei ole saatavilla, se voidaan laskea veden kulutuksen perusteella. Yksi mahdollisuus arvioida energiankulutusta on tässä työssä käytetty tapa, missä arvioitiin lämpimän käyttöveden energiankulutusta tarkasteltavien vuosien kesä-elokuun kulutusarvojen perusteella. Tarkasteluvuosien kylmät kesäkuut jätettiin huomioimatta. Heinäkuussa päiväkotia on ollut kiinni. Sen vaikutus otettiin laskennassa huomioon. Lämpimän käyttöveden energiankulutukseksi arvioitiin keskimäärin 5,8 MWh, kun kuukauden tunnit ovat 744 h.

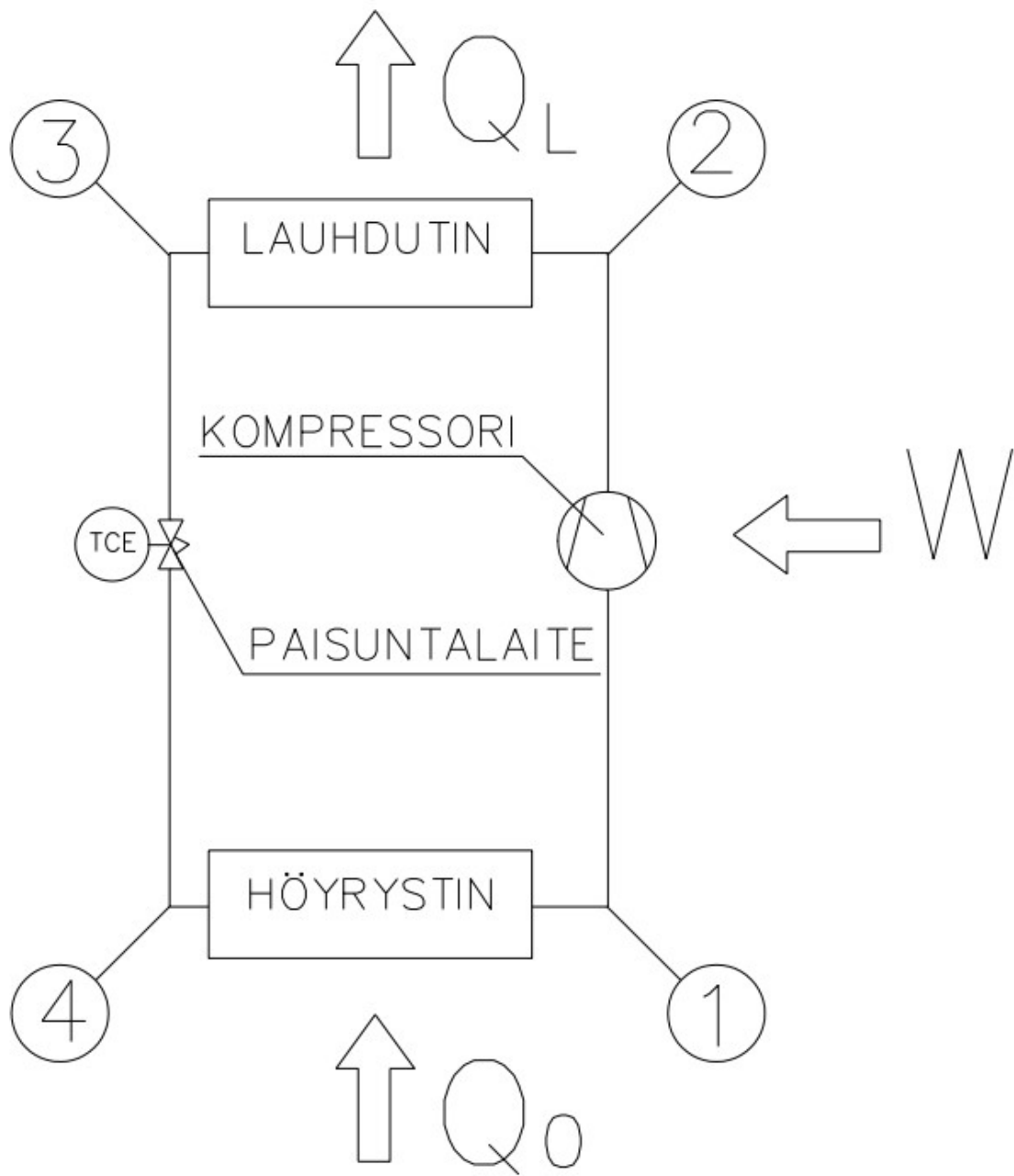
Tässä työssä lämpimän käyttöveden energiankulutuksesta huomioitiin vain lämpimän käyttöveden kierron osuus hybridijärjestelmän vaikutusten laskennassa. Kierron osuus voidaan Fiksu-ohjausjärjestelmän mittausten perusteella hoitaa kokonaan lämpöpumpun tulistuksenpoistosta saatavalla energialla. Kierron osuus on yli puolet lämpimän käyttöveden energiankulutuksesta. Taulukon 2 mukaisesti käyttöveden lämmitykseen kuluva kokonaisenergia on kohteessa noin 68 MWh vuodessa. Sen osuus on ollut keskimääräisen suomalaisen kerrostalokannan lämpimän veden energiankulutuksen mukaisesti noin 20 % kokonaisenergiankulutuksesta (3, s. 21).

5.2 Lämpöpumpppu prosessi

Kohteen lämmitysenergian tuottamiseen on tavoitteena käyttää mahdollisimman suurta lämpöpumpppujärjestelmästä saatavaa hyötyä. Jotta lämpöpumpuista saatavaa hyötyä energian siirtämisessä voidaan ymmärtää, on hyvä tietää hieman siinä tapahtuvasta kylmäaineprosessista. Lämpöpumpujen toiminta perustuu suljetussa kiertopiirissä tapahtuvaan kylmäainekiertoa ja kylmäaineessa tapahtuvaan faasimuutokseen. Järjestelmän pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön perusteella energiaa ei voi luoda tai hävittää, mutta se voi muuttua muotoaan. Lämpöpumpppu prosessissa energiaa siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan, kylmäaineen välityksellä, ja prosessiin kompressorin kohdistaman työn avulla. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan systeemin lämpötilatasot pyrkivät tasaantumaan ja lämpö siirtyy aina korkeammassa lämpötilassa olevasta ainesosasta siihen yhteydessä olevaan matalampilämpöiseen ainesosaan. (22, s. 226–229.)

5.2.1 Kylmäainekierron vaiheet

Kuvassa 9 numeroiden 1–2 välillä kylmäaineprosessissa kylmäaineen paine nostetaan kompressorin tekemän työn W avulla lauhdutinpaineeseen ja korkeaan lämpötilaan. Tämän seurauksena lämpö on siirrettävissä lämmitysjärjestelmään lauhduttimessa. Lauhdutusprosessissa lämpöenergia Q_L siirtyy kylmäaineesta ympäristöön tai lämmönsiirtonesteeseen (kuva 9, numerot 2–3). Lauhdutusprosessin jälkeen kylmäaineen painetta lasketaan paisuntaventtiilin avulla ja samalla kylmäaineen lämpötila laskee (kuva 9, numerot 3–4). Tämän seurauksena kylmäaine kykenee höyrystimessä ottamaan vastaan energiaa Q_0 , joko suoraan ympäröivästä ilmasta tai epäsuorasti kylmäainetta lämpimämmästä keruupiiriin lämmönsiirtoaineesta. Keruupiirin lämmönsiirtoneste jäähtyy luovuttaessaan lämpöä kylmäaineeseen ja tämän seurauksena se kykenee uudelleen vastaanottamaan energiaa. (23, s. 10.) Kylmäaineprosessi löytyy lähes jokaisesta taloudesta jääkaapin ja pakastimen muodossa. Siinä kaapin seinämiin sijoitettu höyrystin ottaa energiaa säilytettävistä elintarvikkeista ja jääkaapin tai pakastimen sisätilasta. Kylmäaineen paine ja lämpötila nostetaan kompressorin avulla, jolloin lämpö on lauhduttimella siirrettävissä huonetilaan.



KUVA 9. Kylmäaine prosessi (Muokattu) (23, s.10)

5.2.2 Olennaiset mittauskohdat lämpöpumppuprosessin selvittämisen kannalta

Kylmäaineen käyttäytymistä prosessissa arvioidaan lämpötila- ja painemittauksilla. Mittaustulosten perusteella prosessin toimintapisteet ja kuvaus voidaan sijoittaa log p,h -piirrokseen. Oikeanlaisen prosessikuvausten edellytyksenä tarvitaan ainakin seuraavat mittaustulokset:

- imupaine ja imukaasun lämpötila kompressorille tulevasta imulinjasta
- korkeapaine ja kuumakaasun lämpötila kompressorilta lähtevästä kuumakaasuputkesta
- kylmäainesteen lämpötila ennen paisuntaventtiiliä
- kylmäaineen höyrystymispaine ja lämpötila.

Kylmäaineen massavirran selvittämisen edellytyksenä on tiedettävä kompressorin imutilavuusvirta [m^3/h] tai höyrystimen/lauhduttimen teho ja entalpiain muutokset. Lämpöpumppusysteemin koko lämmöntuotto prosessin selvittäminen edellyttää mittaukset myös seuraavista tekijöistä:

- höyrystimelle menevän keruupiirin nesteen lämpötila
- höyrystimeltä lähtevän keruupiirin nesteen lämpötila
- keruupiirin nesteen tilavuusvirta [m^3/s]
- lauhduttimelle menevän lämmityspiirin nesteen lämpötila
- lauhduttimelta lähtevän lämmityspiirin nesteen lämpötila
- lämmityspiirin nesteen tilavuusvirta [m^3/s].

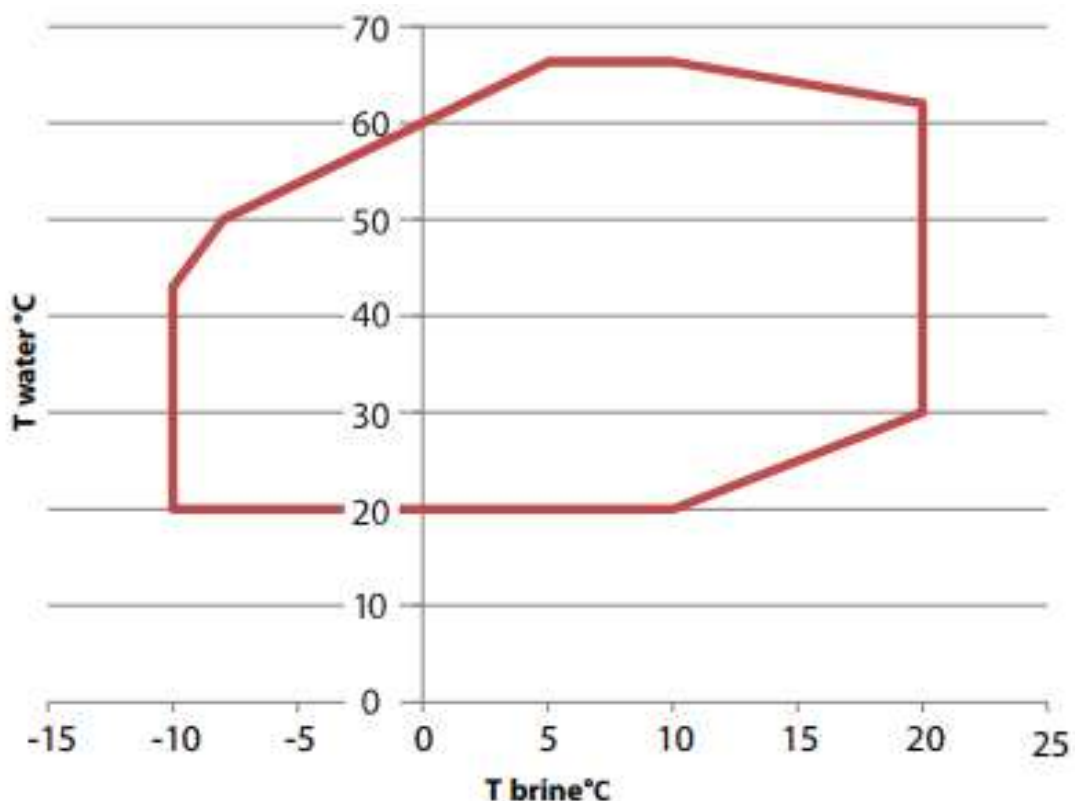
Lämpöpumppujärjestelmässä voidaan käyttää tulistuksenpoistosta saatavaa kuumakaasun korkeaa lämpötilaa lämpimän veden korkean lämpötilavaatimuksen saavuttamiseen. Tämän työn lämpöpumppujärjestelmässä kuumakaasua käytetään lämpimän veden kierron käyttöön ja siitä saatavaa hyötyä tarkasteltaessa tarvitaan mittaukset seuraavista tekijöistä:

- tulistuksenpoistosiiirtimelle tulevan nesteen lämpötila
- tulistuksenpoistosiiirtimeltä lähtevän nesteen lämpötila
- tulistuksenpoistoa käyttävän lämmityspiirin nesteen tilavuusvirta [m^3/s]. (24.)

5.2.3 Kohteen lämpöpumpun prosessin selvittäminen

HybridiHEAT-järjestelmän lämpöpumppu on ruotsalaisvalmisteinen Thermia Mega. Kyseisestä lämpöpumppumallista on valittavissa neljää erilaista kokoa tehontarpeen mukaan. Kiinteistöön on valittu malli M. Lämpöpumpun lämmityskapasiteetti on suunnitteluarvojen mukaisten nimellisvirtausten ja lämpöpumpun valmistajan mukaisesti maksimissaan 49 kW. Höyrystimen maksimikapasiteetti on samanaikaisesti 35 kW. (12.) Lämpöpumpussa käytettävän kylmäaineen ominaisuudet, paisuntalaite, kompressorin imutilavuusvirta ja niiden mukaan optimoitu lauhduttimen sekä höyrystimen lämmönsiirtokyky määrittelevät laitteen suorituskyvyn (24). Lämpöpumpussa käytetään kylmäainetta R410A. Laitteen kompressorin on scroll-tyyppinen. Kompressorin käyntiä ohjataan invertteriteknikalla, eli kierroslukua säädetään lämmitystehontarpeen mukaan.

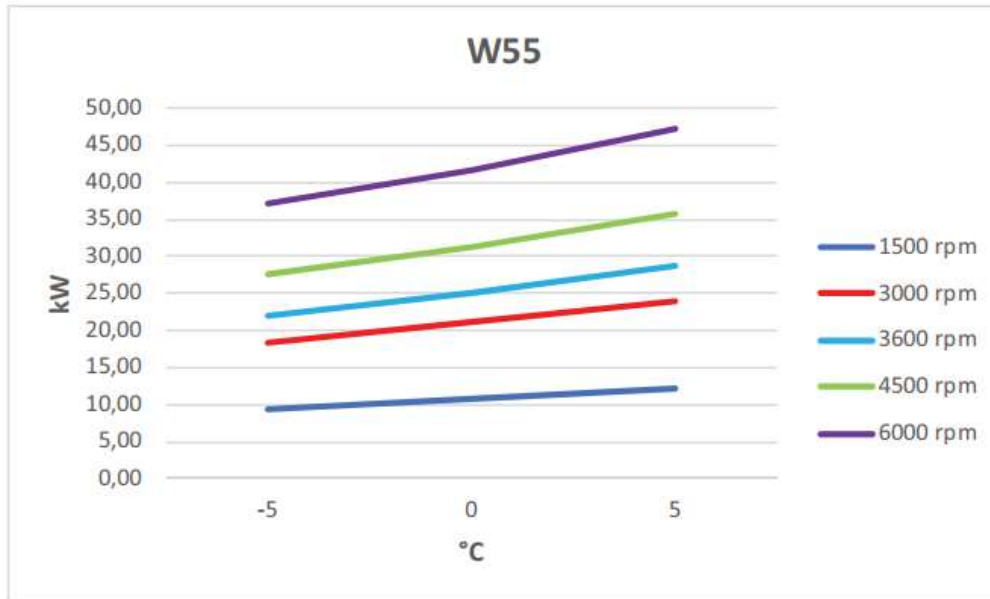
Kuvassa 10 näkyy valmistajan teknisen esitteen mukainen lämpöpumpun suurin turvallinen toiminta-alue lämmityspiirille pystyakselilla ja keruupiirille vaaka-akselilla. Varsinainen prosessin toiminta tapahtuu rajojen sisällä kompressorin kierrosluvun mukaan. (25.)



KUVA 10. Lämpöpumpun toiminta-alueen rajat, kuvassa T_{brine} °C on keruupiirin liuoksen lämpötila ja T_{water} °C on lämmityspiirin veden lämpötila, Thermia Mega, R410A (25)

Kylmäainekiertoa selvitettiin kuvassa 11 näkyvien valmistajan tekemien mittausten perusteella. Saatuja tuloksia tarkennettiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä saatujen tietojen mukaan. Fiksu-ohjausjärjestelmästä on luettavissa kaikki luvussa 5.2.2 luetellut mittauspisteiden arvot lämpötila- ja osin painemittauksina.

Lämmitysteho halutussa menojohdon lämpötilassa 55 °C:n lämpötilassa eri kompressorin nopeuksilla ja lämmönkeruuliuksen lämpötiloissa.



r/min	Keruul. lämpöt.	-5	0	5
1500	Lämmityskapasiteetti (kW)	9,41	10,64	12,08
	Syöttöteho (kW)	3,91	3,90	3,87
	COP	2,40	2,73	3,12
3000	Lämmityskapasiteetti (kW)	18,46	21,04	23,99
	Syöttöteho (kW)	7,07	7,06	7,04
	COP	2,61	2,98	3,41
3600	Lämmityskapasiteetti (kW)	22,10	25,17	28,70
	Syöttöteho (kW)	8,45	8,46	8,46
	COP	2,62	2,97	3,39
4500	Lämmityskapasiteetti (kW)	27,59	31,36	35,72
	Syöttöteho (kW)	10,68	10,74	10,76
	COP	2,58	2,92	3,32
6000	Lämmityskapasiteetti (kW)	37,10	41,69	47,23
	Syöttöteho (kW)	14,79	14,96	14,96
	COP	2,51	2,79	3,16

KUVA 11. Kohteen lämpöpumpun valmistajan ilmoittamat lämmityskapasiteetti ja syöttötehot 55 °C:sen lämmitysveden mukaan (25)

Lämpöpumpun valmistajalla oli kuvan 11 mukainen taulukko myös 35 °C:selle lämmitysvedelle. Niiden välissä olevalle 45 °C:selle lämmitysvedelle interpoloitiin samankaltainen taulukko ja saatavissa olevia lämmityskapasiteettiarvoja jatkettiin keruupiirin lämpötilan funktiona. Imutilavuusvirta laskettiin kompressorin maksimikierto- ja jaettiin kierrosluvun perusteella

pienemmille käyntiloille. Teoriassa invertteriohjattu tekniikka on portaaton, mutta käytännössä tehoportaita on, ja kohteen laitteessa niitä on 10 kappaletta.

Fiksu-ohjausjärjestelmästä luettujen lämpöpumpun mittaustrendien perusteella korjattiin edellä mainittujen lämpöpumppuvalmistajan taulukkoarvojen perusteella luotua tehotaulukkoa kohteen toiminnan mukaiseksi. Hybridilämmitysjärjestelmää on monien erilaisten toisiinsa vaikuttavien tekijöiden vuoksi erittäin vaikea saada toimimaan stabiilisti, joka vaikeuttaa absoluuttisten mittausarvojen selvittämistä. Selvitetyt mittausdatat perusteella laadittiin keskimääräinen lämpöpumpun toimintatila ja laadittiin CoolPack-ohjelmalla esimerkinomainen kylmäainekierto, jonka avulla selvitetiin massavirrat kompressorin eri kiertonopeuksille. CoolPack-ohjelman avulla muokattiin tehotaulukkoa, josta voidaan lukea saatavissa olevalla keruupiirin teholla ja lämpötilatasolla kompressorin ottoteho ja lämmityskapasiteetti. Saadut arvot voidaan syöttää Excel-ohjelmalla tehtyyn laskuriin, jolloin se laskee tarvittavat virtaamat keruupiirin DHAC- ja LTO-osioille.

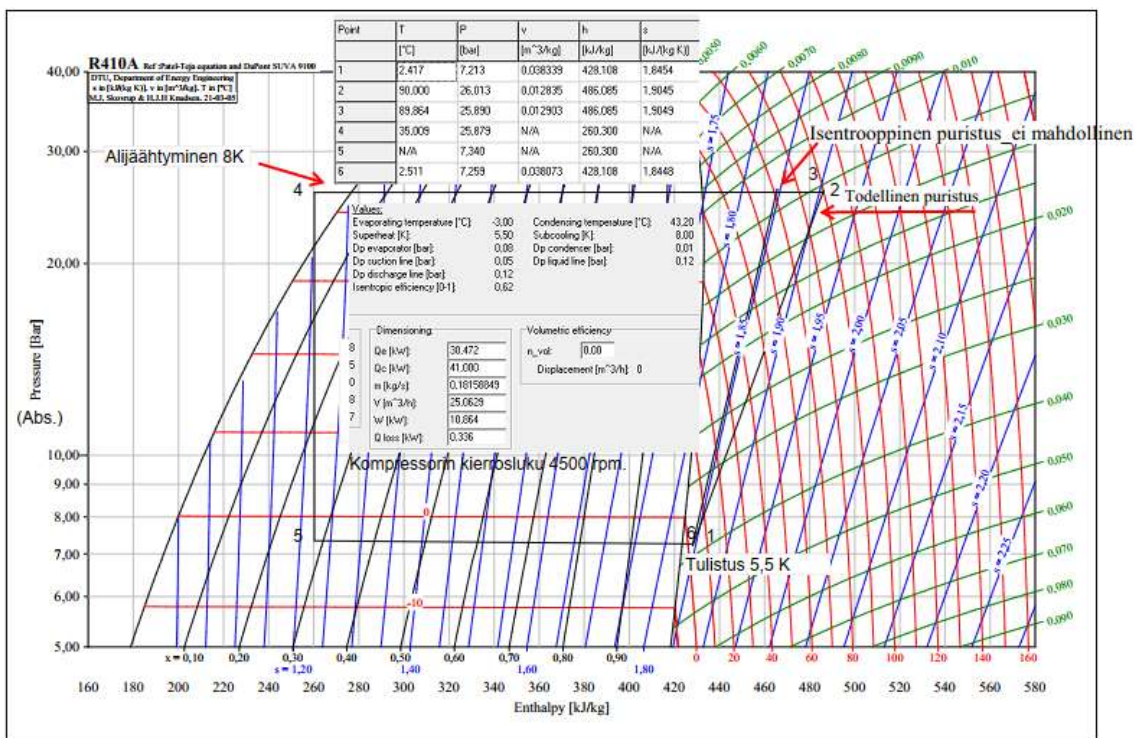
CoolPack-ohjelmaa varten selvitettyt arvot esitetään taulukossa 3. Kylmäaine R410A luokitellaan tseotrooppiseksi joka tarkoittaa, että lauhtumisessa ja höyrystymisessä tapahtuu lämpötilaliukumaa. R410A:n lämpötilaliukuma on hyvin pieni. Höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuu lähes a-seorooppisen kylmäaineen kaltaisesti eli likimain vakioämpötiloissa. Tämän vuoksi lämpötilaliukumaa ei asteisuuden määrittelyssä ole huomioitu. Volymetristä hyötysuhdetta ei laskennassa huomioitu.

TAULUKKO 3. CoolPack-ohjelmaan syötetyt lähtötiedot

Fiksu -ohjausjärjestelmästä luetut keskimääräiset arvot kylmäainekierron selvittämiseksi		
Selite	Arvo	Yksikkö
Käytetty kylmäaine, R410A		
Höyrystimen asteisuus	2,2	[K]
Lauhduttimen asteisuus	1,2	[K]
Kylmäaineen tulistus	5,5	[K]
Kylmäaineen alijäähtyminen	8	[K]
Isentrooppinen hyötysuhde	0,70	-
Imu-, paineputkien, lauhduttimen ja höyrystimen häviöt yhteensä	1	[K]

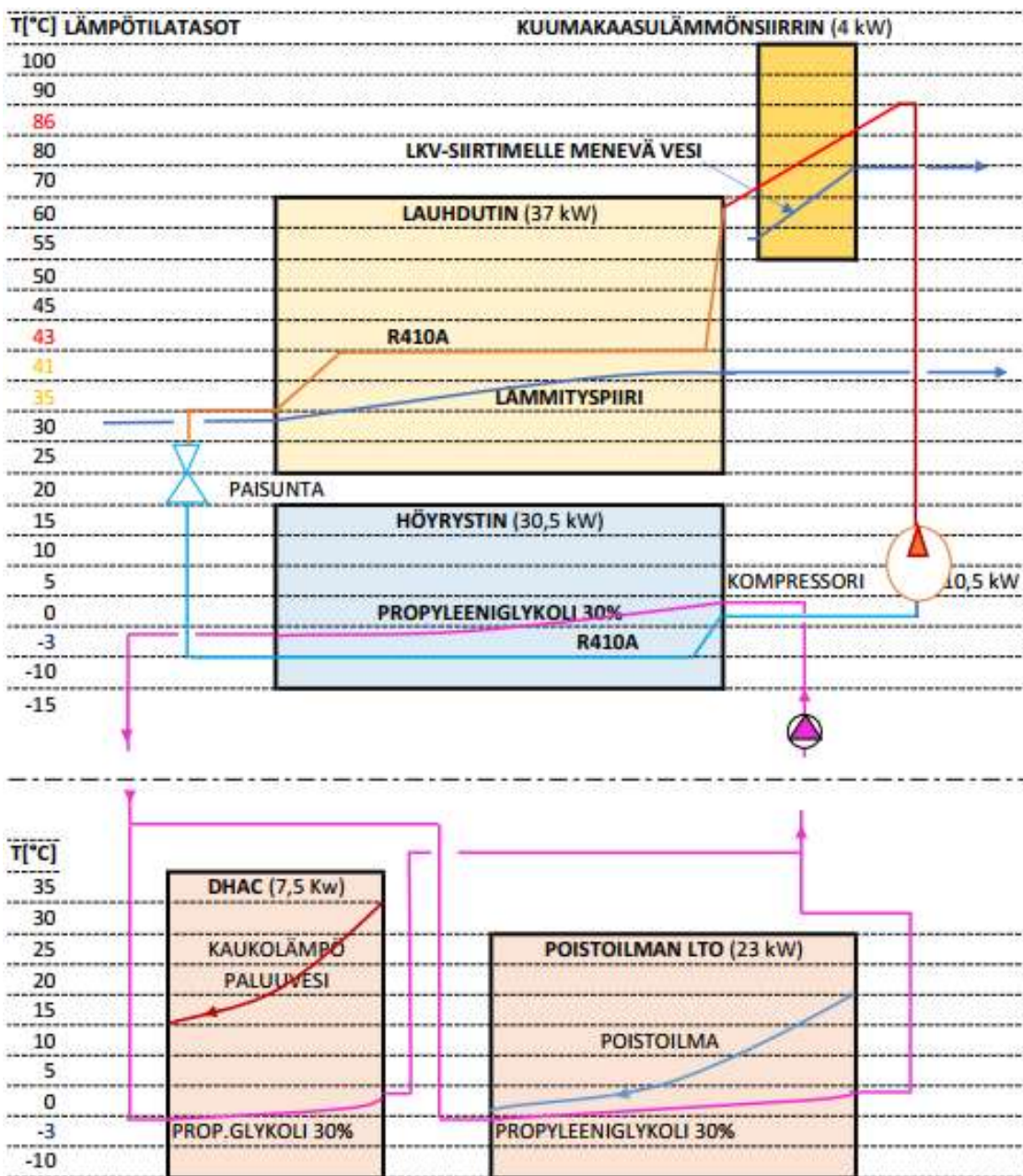
CoolPack-ohjelmalla tehty esimerkinomainen kylmäainekierto kohteen lämpöpumpulle ominaisilla arvoilla on nähtävissä kuvassa 12 näkyvässä log p, h -tilapiirroksessa. Log p, h -tilapiirroksessa pystysuoralla asteikolla on logaritminen paineasteikko ja vaakasuoralla entalpia-asteikko. Rajakäyrä jakaa kylmäaineen faasimuodot siten, että käyrän ulkopuolella vasemmalla on alijäähtynyt nestemuoto. Rajojen sisällä faasimuoto on nestettä ja kaasua. Rajakäyrän oikealla puolella kylmäaine on kaasuna. Rajakäyrän huipulla on kriittinen piste, jonka yläpuolella höyry ei nesteydy.

Kuvassa 12 numeroilla 1, 2, 3, 4, 5 ja 6 merkattujen kohtien arvot voidaan lukea samassa kuvassa näkyvästä taulukosta. Kuvasta on nähtävissä optimaalinen kompressorin tekemä vakioentropiakäyrän mukainen isentrooppinen puristus. Todellisessa puristuksessa tapahtuu aina häviöitä ja kylmäaine tulistuu eli kuvan 12 mukaisesti kaartuu oikealle (22, s. 29). Puristus tapahtuu kompressorin ja käytetyn kylmäaineen ominaisuuksien mukaisesti. Puristuksessa höyrystimen sitoma matalalämpöinen energia siirretään käyttökelpoiseksi korkeamman lämpötilan lauhtumisenergiaksi. Kompressorin käyttää sähköenergiaa sitä enemmän, mitä enemmän piirros kaartuu oikealle. Isentrooppinen hyötysuhde on todellisen ja häviöttömän isentrooppisen puristuksen suhde.



KUVA 12. Log p, h -tilapiirros kylmäaineelle R410A (CoolPack-ohjelma)

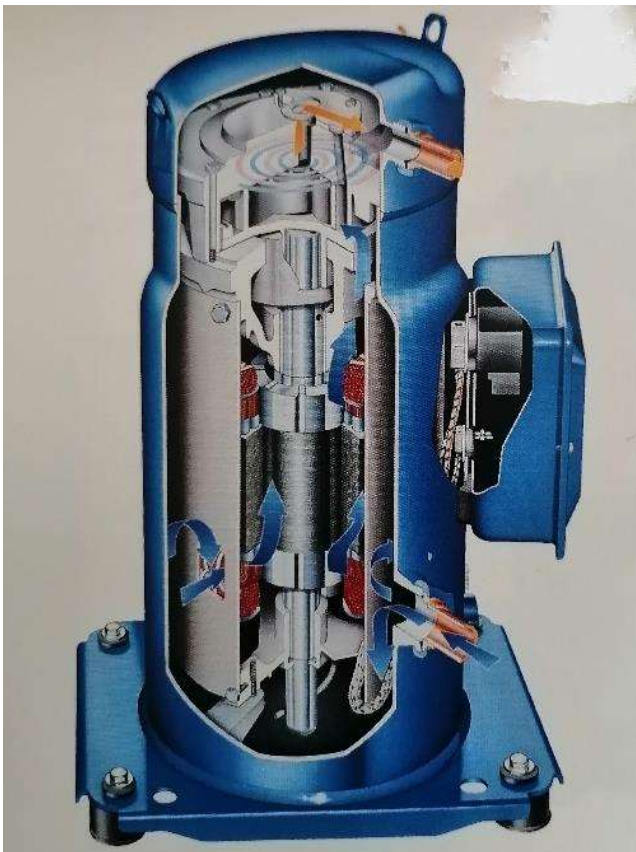
Lämpöpumppprosessin edellä olevan log p, h -tilapiirroksen mukaiset lämpötilatasot voidaan lukea kuvasta 13. Lämmitysverkoston vesi lämpenee lauhduttimessa 8 kelviniä. LKV-siirtimelle menevä, kuumakaasulämmönsiirtimellä lämpenevä vesi on kuvassa havainnollistamisen vuoksi jyrkästi kaartuva. Sen todellinen lämpötilanousu on tämän esimerkin kaltaisessa todellisessa tilanteessa noin 6–10 kelviniä. Kuvasta nähdään myös keruupiirin lämpötilatasot. Keruupiirin liuos jäähtyy höyrystimessä noin 4 kelviniä luovuttaessaan energiaa kylmäaineeseen. Kohteen lämpöpumpun automatiikka pyrkii säätämään kompressorin kierrosnopeutta siten, että edellä mainitut lauhduttimen ja höyrystimen arvot toteutuvat.



KUVA 13. Lämpöpumppprosessin esimerkinomaiset lämpötilatasot

5.2.4 Kompressori

Järjestelmän kylmäainekiertoa työtä tekevä kompressori on lämpöpumppukäytössä yleisesti käytettävä scroll-tyyppinen hermeettinen kompressori. Hermeettisessä kompressorissa koneisto on sijoitettu kaasutiiviin umpeen hitsatun kuoren sisään. (Kuva 14.) (22, s. 54.) Puristus tapahtuu kahden toisiinsa sopivaksi työstetyn kierukan välissä. Toinen kierukoista liikkuu epäkeskeisesti kiinteästi paikallaan olevan kierukan sisällä. Voitelun ja kierukoiden tiivistyksen vuoksi kompressori vaatii riittävän määrän öljyä toimiakseen. Järjestelmää ei saa ylikuormittaa, jotta öljyn voiteluominaisuudet säilyvät kaikissa olosuhteissa. Scroll-kompressorissa ei ole virtaushäviötä aiheuttavia venttiileitä. Kaikissa kompressorityypeissä esiintyy kuitenkin jonkin verran vuotohäviöitä ja kylmäainehöyryn lämpenemisestä johtuvia seinämähäviöitä. (26, s.131–134, 147.) Kohteen kompressori on invertteriohjattu, ja sen moottorin kierrosnopeutta voidaan säätää välillä 1500–6000 rpm.



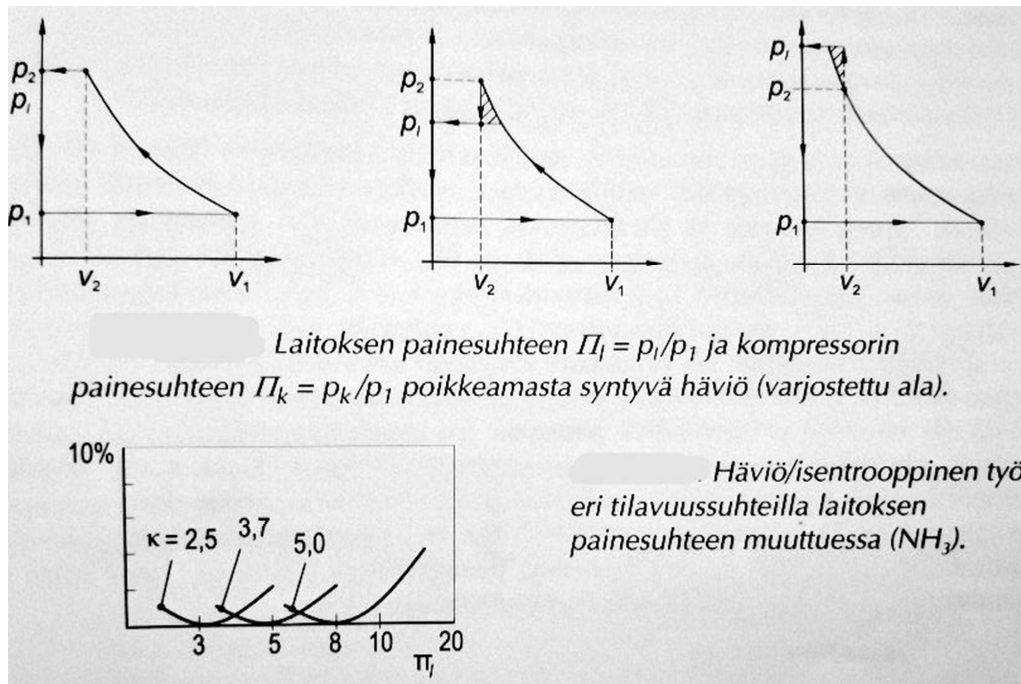
KUVA 14. Scroll-kompressorin leikkauskuva (Muokattu) (22)

5.2.5 Painesuhteen vaikutus lämpöpumpun hyötysuhteeseen

Painesuhteella tarkoitetaan kylmäainekierron matalapaineisessa höyrystymisessä ja korkeapaineisessa lauhtumisessa tapahtuvien painetilojen suhdetta. Painesuhde määräytyy keruupiirin ja lämmityspiirin lämpötilojen erosta. Mitä pienempi lämpötilaero on, sitä paremmalla hyötysuhteella lämpöpumppu toimii. DHAC-järjestelmän avulla voidaan teoriassa ajatella saavutettavan korkeampi keruupiirin lämpötila kuin pelkällä poistoilman energialla. Keruupiirin massavirta on kuitenkin tämän työn kohteen kaltaisessa systeemissä niin suuri, että riittävää tehoa korkeamman keruupiirin lämpötilan saavuttamiseen ja ylläpitämiseen ei ole kovin helposti saatavissa kaukolämmön paluupuolelta.

Höyrystymislämpötilan noustessa kylmäaineen massavirta kasvaa tiheyden suurentuessa. Höyrystin kykenee näin ollen sitomaan enemmän keruupiirin energiaa, mutta suuremman energiamäärän täytyy myös olla järjestelmään mitoitettulla lauhduttimella luovutettavissa. Kompressorin tekemän työn määrä on sitä pienempi, mitä korkeampi lämpötila höyrystimelle kyetään saamaan. Sähkönkulutus laskee ja hyötysuhde kasvaa. Lämpöpumppuvalmistaja antaa järjestelmälle sivulla 28 olevan kuvan 10 mukaiset toimintarajat, joiden sisällä täytyy pysyä.

Saavutettava hyötysuhde ei kuitenkaan kasva lineaarisesti painesuhteen muutoksen kanssa. Scroll-kompressoreilla ja ruuvikompressoreilla on kiinteä tilavuussuhde. Tämän vuoksi jokaisella scroll-tyyppisellä kompressorilla on olemassa yksittäiselle laitteelle suunniteltu tilavuussuhteen mukainen optimaalinen painesuhde. Kuvasta 15 voidaan lukea painesuhteen π_i muutoksen aiheuttama häviövaikutus eri tilavuussuhteille κ . Kuvasta nähdään kuinka häviöt kasvavat painesuhteen kasvaessa tai laskiessa optimaaliselta alueelta. (26, s.147–149.) Kompressorin kierrosnopeutta säätämällä voidaan kompensoida häviövaikutusta, kun toimitaan lämpöpumpun toiminta-alueen rajojen sisällä höyrystimen ja lauhduttimen mitoituksen osalta.



KUVA 15. Scroll-kompressorille tyypillinen painesuhteen poikkeamasta syntyvä häviö (26, s.149)

5.2.6 Kylmäaine R410A

Kohteen lämpöpumpun kylmäaineena käytetään seoskylmäainetta R410A. Kylmäaineluokka kyseiselle aineelle on HFC. HFC (Hydro-Fluoro-Carbon) kylmäaineet ovat fluorihilivetyjä ja niitä kutsutaan F-kaasuiksi. R410A:n komponentteina on tasasuhteessa kylmäaineet R32 ja R125. R410A on lähes atsetrooppinen seos. Lämpötilaliukuma on noin 0,2 °C. Kyseisen kylmäaineen turvaluokitus on A1, eli se luokitellaan ei-myrkylliseksi ja ei-syttyväksi. GWP-luku (Global Warming Potential) kuvaa kylmäaineen vaikutusta kasvihuoneilmiöön. Vertailulukuna käytetään hiilidioksidille (CO_2) annettua haitallisuusarvoa 1,0. R410A:n GWP-luku on 2088. (22, s.32–43.)

5.3 Keruupiirin lämmönsiirtoaineet

Kohteen keruupiirin lämmönsiirtoaineena käytetään propyleeniglykolia. Sekoitussuhde veteen on 30 til-%. Propyleeniglykoli on myrkytön ja ympäristöystävällinen lämmönsiirtoaine. Se on myös huonosti syttyvää. Lämmönsiirtoaineen ominaisuudet täytyy olla sellaiset, että se säilyttää nestefaasiominaisuutensa höyrystimen matalimmassa mahdollisessa lämpötilassa. Etyleeniglykoli on käytetyin lämmönsiirtoaine nestekiertoisissa lämmöntalteenottojärjestelmissä. Se on myrkyllistä suurilla tilavuuspitoisuuksilla, mutta se on edullista ja sen lämmönsiirto-ominaisuudet ovat propyleeniglykolia paremmat. Maalämpöjärjestelmien lämmönsiirtoaineena käytetään usein etanolia.

Sen lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät. Etanoli on herkästi syttyvää. Hieman vähemmän käytetty lämmönsiirtoaine freezium on lämmönsiirto-ominaisuuksiltaan hyvä keruupiirin liuos. Se on myrkytöntä, eikä se ole syttyvää. Huono puoli freeziumin käytössä on sen ominaisuus suolana altistaa laitteisto ja putkisto korroosiolle. Propyleeniglykolin lämmönsiirto-ominaisuudet ovat edellä mainituista lämmönsiirtoaineista kaikkein epäedullisimmat. (27, s.15)

5.4 Poistoilman hukkaenergian talteenotto

Lisääntynyt kiinnostus ostoenergiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähennykseen on kasvatanut PILP-järjestelmien suosiota. Valtaosassa poistoilmanvaihdoilla olevista rakennuksista ilmamäärä, joka on lämmitetty ulkoilman lämpötilasta sisäilman lämpötilaan pääosin ostoenergialla, puhalletaan suoraan ulos eli täysimääräisesti hukkaan. Uudempien rakennusten tavanomaisissa ilmanvaihdon passiivisissa lämmöntalteenottojärjestelmissä kesäkauden ja pakkaskauden lämmöntalteenottoa joudutaan rajoittamaan. PILP-käyttöisillä lämmöntalteenottojärjestelmillä poistoilmasta on mahdollista ottaa suurin osa talteen ympäri vuoden. Kesäkaudella saatu energia voidaan käyttää käyttöveden lämmittämiseen, mukavuuslattialämmitykseen tai mahdollisten maalämpöpörien lataamiseen.

Poistoilmasta lämpöpumpulle keruuliuoksen välityksellä saatavan energian määrään vaikuttavia tekijöitä ovat

- huoneistoista poistettavan ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
- poistoilmakanaviston lämmöneristys
- ulospuhallusilman lämpötila (jäteilma)
- LTO-laitteen hyötysuhde
- keruupiirin lämmönsiirtoaineen ominaisuudet
- LTO-laitteelta lämpöpumpulle menevän keruupiirin lämmöneristys, erityisesti LTO-laitteen välittömässä läheisyydessä olevissa putkiosuuksissa, jotka ovat alttiina kylmälle ulkoilmalle ja
- LTO-laitteelle menevän ja sieltä palaavan keruuputken välinen eristys.

Yleisesti asuinkerrostalojen sisäilma on erityisesti lämmityskaudella hyvin kuivaa. Kohteen asunnoissa on suhteellisen kosteuden mittaus, joka on luettavissa Fiksu-ohjausjärjestelmästä. Keskimääräinen asuntojen suhteellinen kosteus on ollut tämän selvitystyön aikaisena kuluvana talvena 20–25 % ja pysyvästi alle 30 % (14). Lämmityskaudella ulospuhallusilman lämpötila voidaan laskea jopa 1 °C:seen ilman että kondensoitumista tapahtuu LTO-patterissa (Mollier-piirros, liite 4). Lämmönsiirto tapahtuu suurimmalta osin kuivana.

Entalpialaskennalla päästäisiin tarkkaan lopputulokseen energianlaskennassa. Laskennan yksinkertaistamiseksi oletettiin lämmönsiirron tapahtuvan kuivana ja poistoilmasta keruupiiriin hyödyksi saatu teho laskettiin kaavan 4 mukaisesti. Saatu teho muutettiin energiaksi kertomalla se ajalla (t). Laskelmissa ominaislämpökapasiteettina (C_p) käytettiin ilmalle 1,01 kJ/kgK. Ilman tiheytenä (ρ) käytettiin 1,25 kg/m³. Poistoilman ja ulospuhallusilman välinen erotus (ΔT) luettiin Fiksu-ohjausjärjestelmän mittaustietojen perusteella ja tilavuusvirta (V) ilmanvaihdon normaali- ja tehostuspoistotilanteiden sekä laskettavan tilanteen ulkolämpötilojen mukaan.

Pitkäaikaisella pakkasjaksolla poistoilmakanavisto jäähtyy siten, että poistoilman lämpötila ennen LTO-laitetta on jopa 2,5 °C matalampi kuin keskimääräinen huoneistojen sisälämpötila. Poistoilman LTO:n hyötysuhde on Fiksu-ohjausjärjestelmän mittausten mukaan ollut noin 90 % (14). Kyseistä mitattua arvoa käytettiin laskennassa, kun arvioitiin tehonsiirtoa poistoilmasta keruupiiriin. Arvo on todella hyvä, kun tiedetään, että kohteessa käytetty propyleeniglykoli on lämmönsiirtoominaisuuksiltaan heikompi kuin vaihtoehtoiset lämmönsiirtoaineet.

Poistoilmasta hyödyksi saatu teho [kW] = 0,9 × V × C_p × ρ × ΔT KAAVA 4

Keruupiirin putkisto täytyy eristää erittäin huolellisesti toisistaan nousukuiluissa, jotta oikosulkuvirtausta ei pääse syntymään. Oikosulkuvirtauksessa lämpimämmästä LTO:lta palaavasta putkesta lämpöä siirtyy vastakkaiseen suuntaan menevään kylmempään putkeen. Keruupiirin putkien huolellisella eristyksellä estetään myös kondenssin muodostuminen. Huonosti eristetyistä putkista aiheutuva kondenssivesi voi aikaansaada homevaurioriskin piilossa olevissa rakenteissa.

5.4.1 Ohjeen mukaiset tavoiteilmavirrat

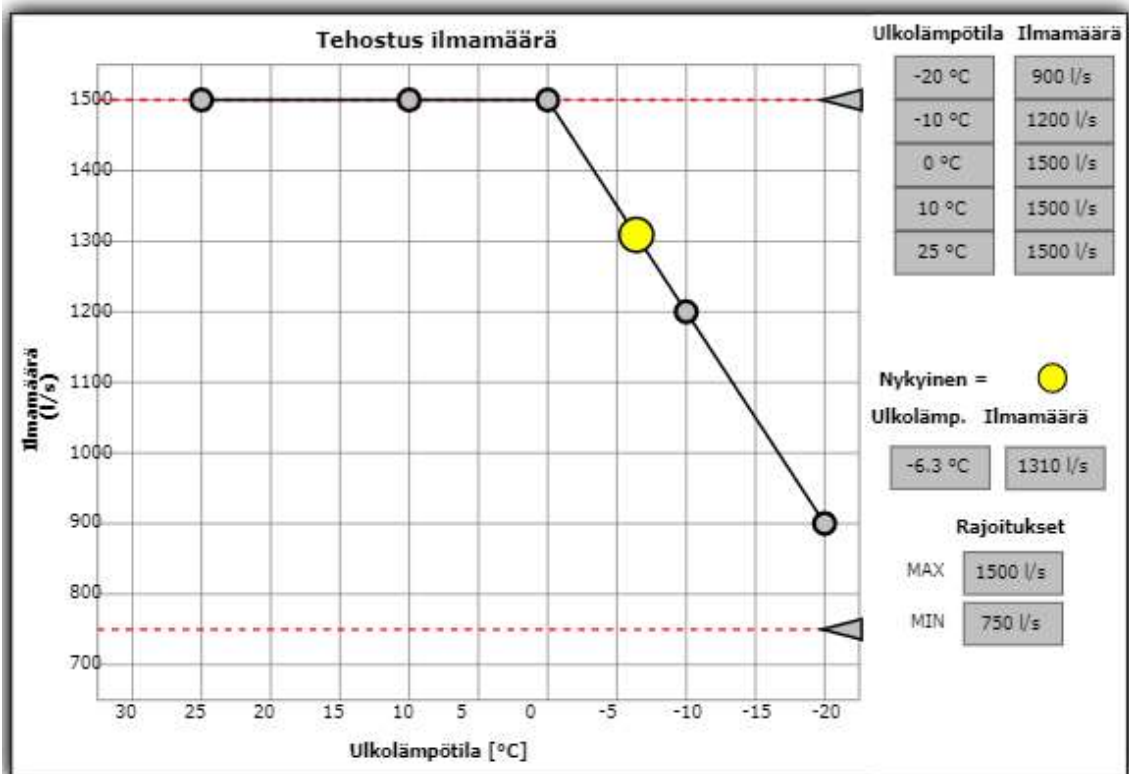
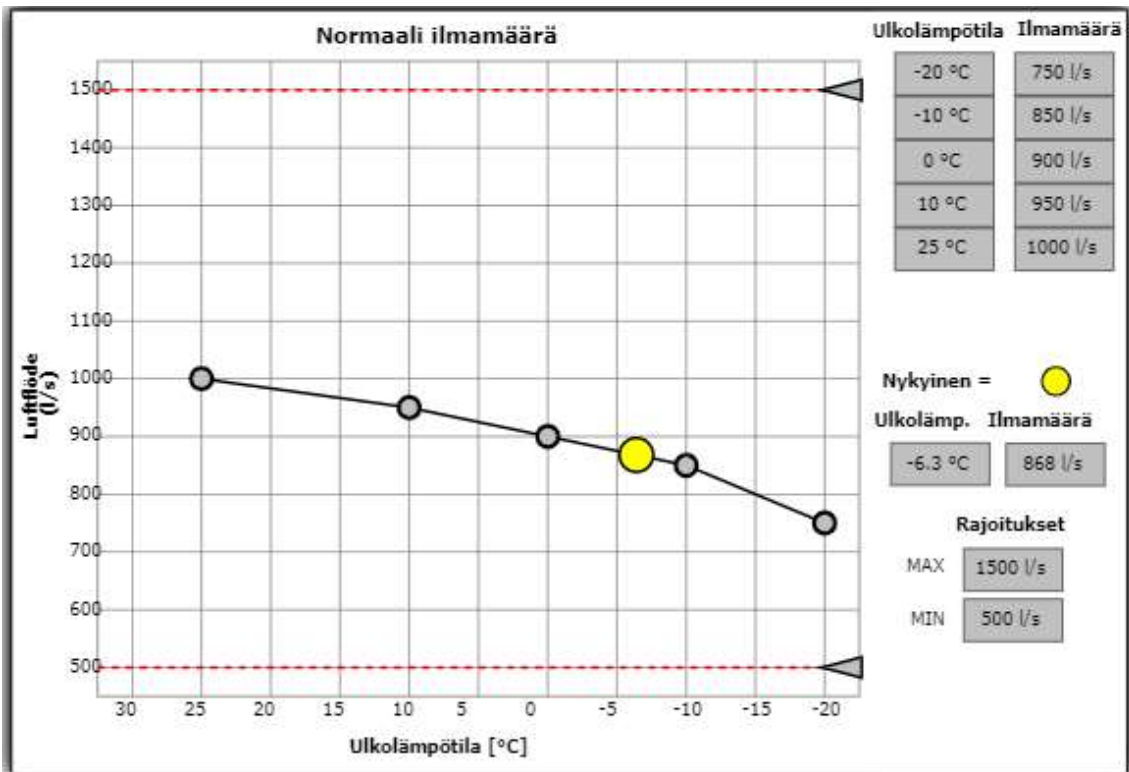
Energiatohokkuusajattelussa ei pidä ajatella siten, että asumisterveyden ja -viihtyvyyden tasoa voidaan laskea hiilineutraaliuden kustannuksella. Poistoilmanvaihdon olevissa asuinkerrostaloissa on usein ongelmana vetoisuuden tunne, mikäli ilmavirtausten säätöjä ei ole tehty oikein. Korkeassa talossa myös ulko- ja sisälämpötilojen vaikutuksesta syntyvä hormivaikutus lisää alimpien kerrosten alipaineisuutta. Ilmavirrat tuleekin säätää myös ulkoiset tekijät mahdollisuuksien mukaan huomioon ottaen ja varmistaa ilmanvaihdon toimivuus paine-eromittauksin.

FINVACin ohjeen mukaan ilmanvaihto asuintiloihin tulee suunnitella siten, että koko huoneiston ilmamäärä vaihtuu kerran kahdessa tunnissa. Tämä ohjeistus tarkoittaa sitä, että ulkoilmavirta tulisi olla $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ yhtä asuineliötä kohti. Arvo on laskettu $2,5$ metrin huonekorkeudelle. Jokaisen asunnon koko ulkoilmavirta tulee ohjeen mukaan olla vähintään $18 \text{ dm}^3/\text{s}$. (28.) Kohteen asuntojen yhteenlaskettu pinta-ala on 1897 m^2 . Asuintilojen osalta vähimmäisulkoilmavirta tulisi ohjeen mukaan olla $1897 \text{ m}^2 \times 0,35 \text{ dm}^3/\text{s} = 664 \text{ dm}^3/\text{s}$.

5.4.2 Käytössä olevat ilmavirrat

Kohteeseen asennetun LTO-laitteen poistoilmapuhallin toimii EC-moottorilla, ja sen ilmavirtaa voidaan säätää portaattomasti. Maksimi poistoilmavirta laitteelle on 1600 l/s (12). Kohteessa käytetään normaali-ilmavirtausta 18 tuntia ja tehostusilmavirtausta 6 tuntia vuorokaudessa. Aikaohjaus on samankaltainen jokaiselle viikonpäivälle. Molemmissa tapauksissa ilmavirtamäärä on säädetty toimimaan ulkolämpötilakäyrän mukaisesti. Kuvan 16 mukaisesti molemmilla poistoilmaohjelmilla puhallin ajetaan pienimmälle teholle -20 °C :n lämpötilassa. Normaalipoistotilanteen pienin ilmamäärä on $750 \text{ dm}^3/\text{s}$. Pienimmällä käytettävällä ilmavirralla saavutetaan asuntojen osalta luvussa 5.4.1 FINVACin ohjeen mukaan laskettu arvo $664 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Päästö- ja kustannuslaskennassa huomioitiin ilmavirran muutosten aiheuttamat vaikutukset. Energiansaanto poistoilmasta lämpöpumpun käyttöön vaihtelee suuresti erilaisten ilmanvaihtotilanteiden ja ulkolämpötilan mukaan. Jotta hukkalämpöjen energia voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, on tärkeää laskea keruupiirin liuoksen virtaamat eri tilanteissa. Virtaamat laskettiin rakennuksen tehontarpeen mukaan ulkolämpötilan funktiona molemmille keruupiirin energialähteille. Keruupiirin liuoksen arvoina käytettiin luvussa 5.5. määritellyjä arvoja.



KUVA 16. Kohteen ilmamääräsäädöt ulkolämpötilan mukaan (14)

5.5 DHAC, kaukolämmön paluuvesienergian hyödyntäminen

Kaukolämmön paluuvesienergian hyödyntämisen laskennassa arvioitiin mahdolliseksi DHAC-lämmönsiirtimelle tulevan veden lämpötilaksi 35 °C Fiksu-ohjausjärjestelmän mittausten perusteella. Kaukolämmön rakennuksesta lähtevän paluueden ei haluttu aiheuttavan kondenssia lämmönjakohuoneessa. Laskennassa kiinteistöstä lähtevän kaukolämpöveden lämpötilana käytettiin 12 °C:ta. Liitteessä 4 olevasta Mollier-tilapiirroksesta voidaan arvioida, että lämmityskauden kuivan sisäilman aikana paluuvesi voi mennä noin 8 °C:seen, ennen kuin kondenssia alkaa ilmentyä. Paluueden energian saanto on riippuvainen rakennuksen lämmitystehontarpeesta ja poistoilman hyödyntämisestä keruupiiriin. Tässä työssä poistoilmasta saatava energia priorisoitiin ensisijaiseksi hukkalämmönlähteeksi, ja DHAC-järjestelmä täydentää sitä siltä osin, kun energiaa on sieltä saatavissa.

DHAC-siirtimen kautta höyrystimelle saatavan energian mittauksissa havaittiin, että mittalaitteet eivät näytä realistisia arvoja keruupiiristä saatavalle energialle. Mittaustulokset eivät täsmänneet, kun niitä vertailtiin vesipuolelta saatavissa olevan energian kanssa. Yleisesti tämäntyyppisissä järjestelmissä käytössä olevat energiamittarit on suunniteltu toimimaan optimaalisesti veden kanssa. Liuosten ominaisuuksien vaihtelevuus sekä oikea tieto käytetyn seoksen suhdeluvusta heikentävät mittaustulosten luotettavuutta. Propyleeniglykolin lämmönsiirtokyky on joka tapauksessa huonompi kuin veden. Laskennassa ajateltiin otettavan paluuedestä kaikki hyöty, joka siitä on saatavissa.

Tehonsaanto laskettiin ensin veden ominaisuuksilla kaukolämpöveden puolelta. Saadulla tehon arvolla laskettiin keruupiirin DHAC-siirtimen virtaama propyleeniglykolin arvoilla. Arvot luettiin CoolPack-ohjelmasta arvioidun liuoksen 2 °C:n keskilämpötilan mukaan. Ominaislämpökapasiteettina propyleeniglykolilla käytettiin 3,806 kJ/kgK. Tiheys vastaavalla lämpötilalla on CoolPackin mukaan 1035,2 kg/m³. Höyrystimellä tapahtuvana liuoksen lämpötilanmuutoksena (ΔT) käytettiin 4 K. Samaa lämpötilanmuutosta käytettiin poistoilmapuolen virtaamaa laskettaessa. Lämpötilanmuutos DHAC-siirtimellä ja LTO-laitteella voi jonkin verran vaihdella tilanteiden mukaan. HybridiHEAT-järjestelmään kuuluva keruupiirin virtauskeskus säätää liuoksen virtaamia oikeassa suhteessa.

5.6 Hybridijärjestelmän optimointilaskuri Excel-taulukkolaskentaohjelmalla

Työn tuloksena tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskuri, jonka avulla voidaan tarkastella hybridilaitteiston vaikutusta kohteen ostoenergiankulutukseen. Laskuria voidaan käyttää myös muissa vastaavissa kohteissa. Sen avulla voidaan tarkastella laitteiston tuoma taloudellista vaikutusta ja hiilidioksidinpäästöjen vähennystä. Laskentaa varten tehtiin jokaiselle kuukaudelle normaali- ja tehostospoiston mukaan arvoja laskevat taulukot. Kuukausitaulukoille haetaan kuukauden keskilämpötilan mukaan lämpöpumpun tuottama ja kuluttama energia. Kuukausilaskennan taulukon malli on nähtävissä liitteessä 5. Kuukausilaskenta laskee tulossivuille laskennan tulokset siten, että vaihtoehtoiset lämmitysenergian tuottomahdollisuudet ovat

- kaukolämpö
- DHAC ja LTO, sekä kaukolämmöllä loppu tarvittava
- LTO samalla keruupiirin virtaamalla, kuin edellisessä ja kaukolämmöllä loppu tarvittava
- maksimoitu hyöty LTO:lta ja kaukolämmöllä loppu tarvittava
- optimoitu DHAC:n sekä maksimoidun LTO:n yhteiskäyttö ja kaukolämmöllä loppu tarvittava.

Laskennan tulossivut nähdään liitteistä 6 ja 7. Edellä mainitut arvot lasketaan kuukausitason mukaan. Laskennan pohjana on vuosilta 2014–2019 laskettu energiankulutuksen normeerattu keskiarvo. Lämpötilat määritellään kuukauden keskilämpötilan mukaan. Laskennassa on käytetty Oulun kaukolämmön hintoja. DHAC-käytön energian hinnaksi määriteltiin tämän työn laskennassa 10 €/MWh. Varsinaista hinnoittelua kaukolämmön paluuenergian käytölle ei ollut saatavissa, koska vastaavaa laitteistoa ei ole aikaisemmin asennettu kohteen paikkakunnan kaukolämpökohteisiin. Erillinen hinnoittelu vaatii tavanomaisen kaukolämmön energiamittauksen lisäksi mittauksen myös DHAC-siirtimen kautta otettavalle kaukolämmön paluueden energiankäytölle.

Keruupiirin virtaamalaskuri tehtiin ulkolämpötilan mukaan muuttuvan tehontarpeen laskennan perusteella. Fiksu-ohjausjärjestelmästä voidaan lukea lämmitys- ja iv-piirille menevä teho. Yhden kelvinin [K] ulkolämpötilan muutoksen mukainen tehontarve määriteltiin aiemmin kulutetun energian mukaan. Saatua arvoa tarkennettiin vastaamaan nykyistä kulutusta Fiksu-ohjausjärjestelmästä saatujen mittausten perusteella. Lämmitystehontarpeeseen laskettiin mukaan lämpimän veden kiertoön tarvittava teho.

6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Hybridijärjestelmän kattavuus koko energian tarpeesta

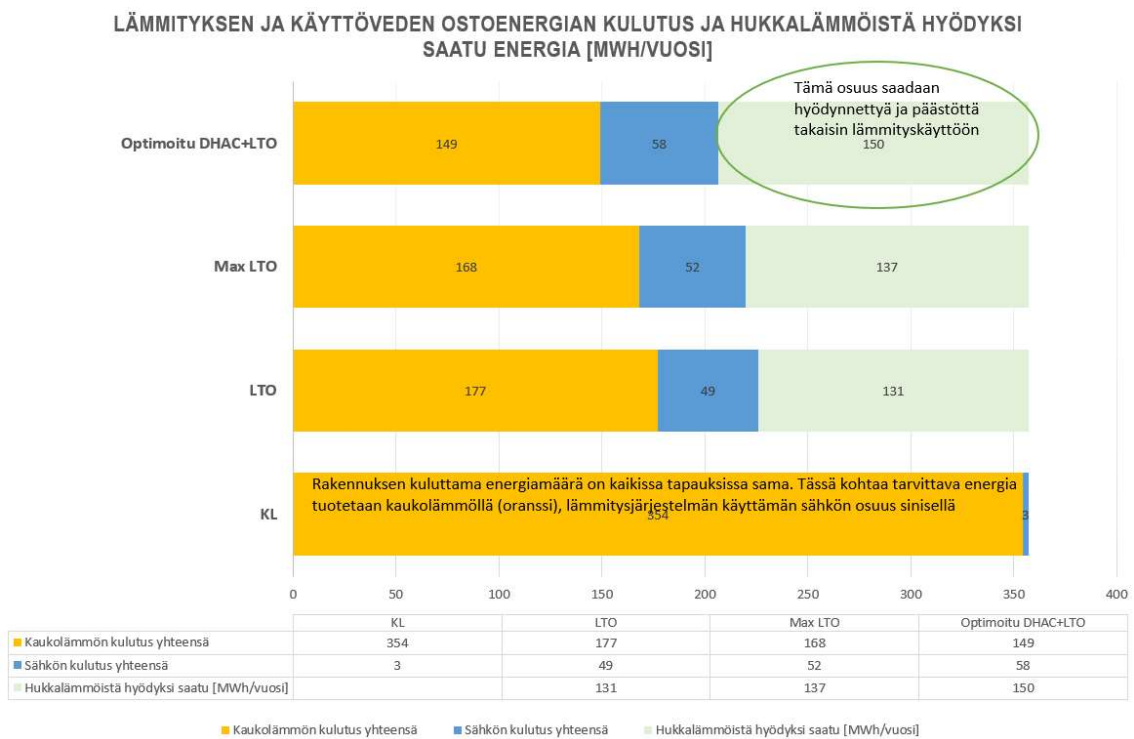
Hybridijärjestelmän kattavuus tarkoittaa tässä työssä lämpöpumpulta saatavaa energiahyötyä. Aurinkosähköjärjestelmä, jäteveden lämmöntalteenotto ja niistä saatava hyöty on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Kuvasta 8 näkyvästä kumulatiivisesta energiamittauksesta voidaan nähdä hieman jäteveden tuomaa hyötyä tämän työn mukaisessa kiinteistössä. Myöhemmin asennettava aurinkosähköjärjestelmä ja siitä päästöttömästi saatava energia mahdollistaa lämpöpumppujärjestelmän tehokkaamman käytön. Aurinkosähköjärjestelmän myötä optimaalisempi lämpöpumpun käyttö on mahdollista etenkin aurinkoisina kevättalven pakkaspäivinä helmi- ja maaliskuussa.

Lämmitysenergian ja käyttöveden kulutus oletettiin laskelmissa samankaltaiseksi kuin keskimääräinen normeerattu aikaisempien vuosien 2014–2019 kulutus. Vuoden 2017 aikana kohteen lämmitysjärjestelmään on asennettu lämmityksen säätökäyrän huonekompensointi, joka kompensoi lämmityspiiriin menevän veden lämpötilaa lähemmäksi oikeaa tarvetta tavanomaisen ulkolämpötilasäädön lisäksi. Normeerauslaskelmien mukaan huonekompensointijärjestelmä on pudottanut lämmitysenergian tarvetta kohteessa noin 7 %. Tämän työn laskelmissa käytetyt energiankulutusarvot ylittävät noin 3 % huonekompensoinnin asennuksen jälkeisiä arvoja. Työssä oletetaan, että tehostetummat ilmajärrat vaativat hieman enemmän lämmitysenergiaa. Poistoilman lämmöntalteenoton yksi erittäin tärkeä hyöty asukkaille onkin lisääntynyt asumisterveys, koska ilmanvaihdon tehostaminen on taloudellisesti järkevämpää kuin aikaisemmin. Lisääntynyt ulospuhallusenergia saadaan kierrätettyä takaisin lämmityskäyttöön.

Kuvassa 17 olevasta kaaviosta voidaan lukea erilaisilla lämpöpumpun keruupiirin variaatioilla ja pelkästään kaukolämpökäytöllä ostoenergian kulutus vuodessa. Kaaviossa näkyy myös hukkalämpöjen hyödyntämisestä saatu energiamäärä vuodessa. Kaavioon on lisätty havainnollistamisen vuoksi lämmitys- ja päiväkodin iv-piirien pumppujen arvioitu sähkönkulutus 3 MWh vuodessa. Sama pumppujen arvioitu kulutus on lisätty kaikkiin variaatioihin. Kaavion mukaan ostoenergian kulutus on optimoidulla DHAC<O-käytöllä noin 42 % pienempi kuin pelkällä kaukolämmöllä tuotetussa vaihtoehdossa. Maksimi LTO -käytöllä (ilman DHAC-käyttöä) ostoenergian kulutus on noin 38 % pienempi kuin pelkällä kaukolämmöllä.

SCOP-luku (Seasonal Coefficient of Performance) kertoo lämpöpumpun vuosihyötysuhteen kiinteistön lämmityskäytössä. SPF-luku (Seasonal Performance Factor) kertoo täydellisen vuosihyötysuhteen, jossa huomioidaan myös käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia. Lämpöpumppujärjestelmissä on paljon todenmukaisempaa tarkastella järjestelmän tehokkuutta SPF-luvulla kuin pelkästään lämpöpumpun SCOP- tai COP-luvulla (Coefficient Of Performance), joka kertoo vain lämpöpumpun sähkötehon hyötykäytöstä tietyllä ajan hetkellä. (29.) Kuvan 17 laskelmissa käyttöveden osuus on mukana.

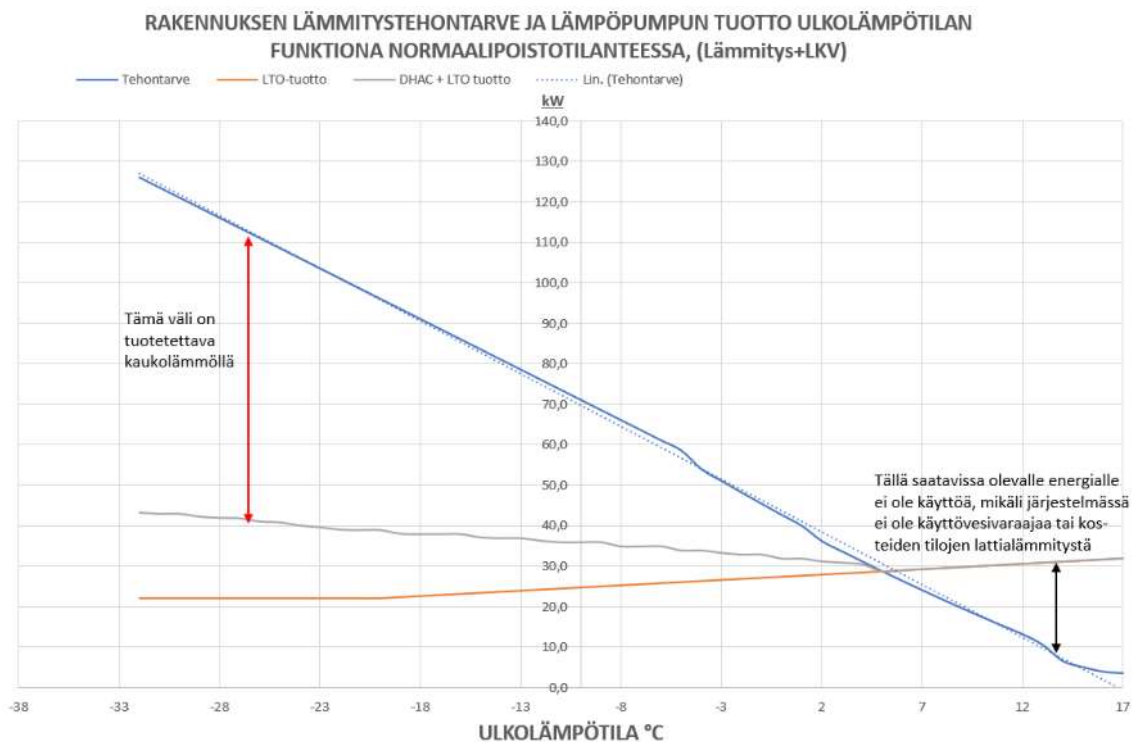
Koko hybridilämmitysjärjestelmän hyötysuhteeksi (SPF-luku) saatiin optimoidulla DHAC<O-käytöllä 1,7 ja maksimi LTO-käytöllä 1,6, kun se kaukolämmöllä on 1,0. Kuvan 17 kaaviossa kaukolämmön osuus on oranssilla, sähkön osuus on sinisellä ja vaalea väri on hukkalämmöistä hyödyksi saadun energian osuus. Kaaviossa käytetty yksikkö on MWh/vuosi.



KUVA 17. Laskennallinen lämmitystarpeen ostoenergian kulutus ja hukkalämmöistä hyödyksi saatu energia [MWh/vuosi]

Tehontarpeen ja lämpöpumpun tuoton mukainen regressioanalyysi ulkolämpötilan funktiona voidaan lukea kuvista 18 ja 19. Kuvaajat tehtiin lämpöpumpun optimoitujen DHAC<O- ja LTO-käytön mukaisilla arvoilla. Kuvaajien toteutumisen edellytys on, että DHAC:lta saadaan täysimääräisesti laskettu energia. DHAC-energiansaannon toteutumisen varmistamisesta kerrotaan luvussa 6.4. Tehontarve määritettiin aikaisemman kulutuksen perusteella, ja sen mukaan saatua arvoa muokattiin Fiksu-ohjausjärjestelmän mittaustietojen avulla. DHAC-siirtimeltä saatavissa oleva teho iteroitiin täsmäämään samanaikaisen tehontarpeen, ja niiden mukaisen kaukolämmönvirtaaman mukaan ulkolämpötilan funktiona. Poistoilmasta LTO:lla saatava energia muuttuu ilmavirran muuttuessa ulkolämpötilan suhteen.

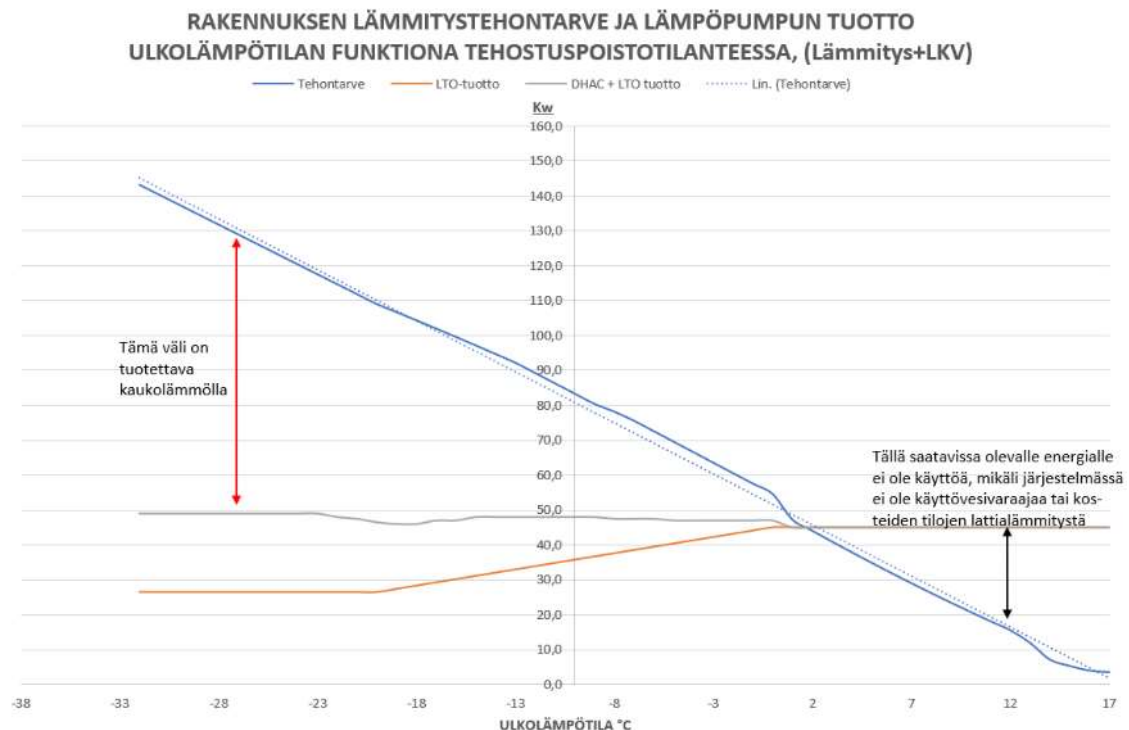
Kuvaajasta voidaan lukea, että normaalipoistotilanteessa lämpöpumpulta ei saada maksimitehoa (49 kW) hukkalämpöjen energialla mitoitusulkolämpötilan $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ yläpuolella (kuva 18). Toisaalta Fiksu-ohjausjärjestelmän mittausten perusteella lämpöpumppu toimii parhaalla hyötysuhteella sähkönkäytön osalta silloin, kun jäädään jonkin verran alle maksimituoton. Lämpöpumpulta saatava teho vastaa rakennuksen lämmitystehon tarvetta normaali-ilmanvaihtotilanteessa noin $5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa. Tätä pistettä nimitetään lämpöpumpun mitoitusasteeksi. Kuvien 18 ja 19 käyristä sininen on tehontarve, oranssi pelkästään LTO-keruupiirin käytöllä saatu teho ja harmaa on DHAC<O-keruupiirien yhteiskäytöllä saatu teho.



KUVA 18. Tehontarve ja lämpöpumpun tuotto ulkolämpötilan funktiona normaalipoistotilanteessa

Tehostuspoistotilanteessa lämpöpumpulta on mahdollista saada lähes täysimääräinen teho koko mitoitusalueella. Noin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa tapahtuu pieni pudotus tehonsaannossa. Edellytyksenä lasketun tehon toteutumiselle on DHAC:lta saatava laskennallinen energia samoin kuin normaalipoistotilanteessa. Tehostus-ilmanvaihtotilanteessa lämpöpumpulta saatava teho vastaa rakennuksen lämmitystehon tarvetta noin $2\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa (kuva 19).

Tehostuspoistotilanteessa sisään otettavan kylmän ulkoilman osuus kasvaa. Rakennuksen lämmitystehontarve on tehostuspoistotilanteessa suurempi kuin normaali-ilmanvaihtotilanteessa. Tästä huolimatta lämpöpumpun mitoitusasteen toteutuma on tehostuspoistotilanteessa alemmassa ulkolämpötilassa. (Kuvat 18 ja 19.) Tehostusilmanvaihtotilanteessa höyrystimelle keruupiiristä siirtynyt energia on merkittävästi suurempi, koska isompi ilmamäärä sisältää huomattavasti suuremman energiasisällön. Lämpöpumppprosessissa kompressori joutuu tekemään suuremman työn siirtäessään kasvaneen energiamäärän lauhdutuslämpötilaan. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena lauhduttimen luovuttama energia lämmityspiiriin on tehostuspoistotilanteessa suurempi kuin kasvanut lämmitysenergiatarve. Jatkuva tehostuspoistoilmanvaihdon käyttäminen voi aiheuttaa vedontunnetta ja meluhaittaa asunnoissa.

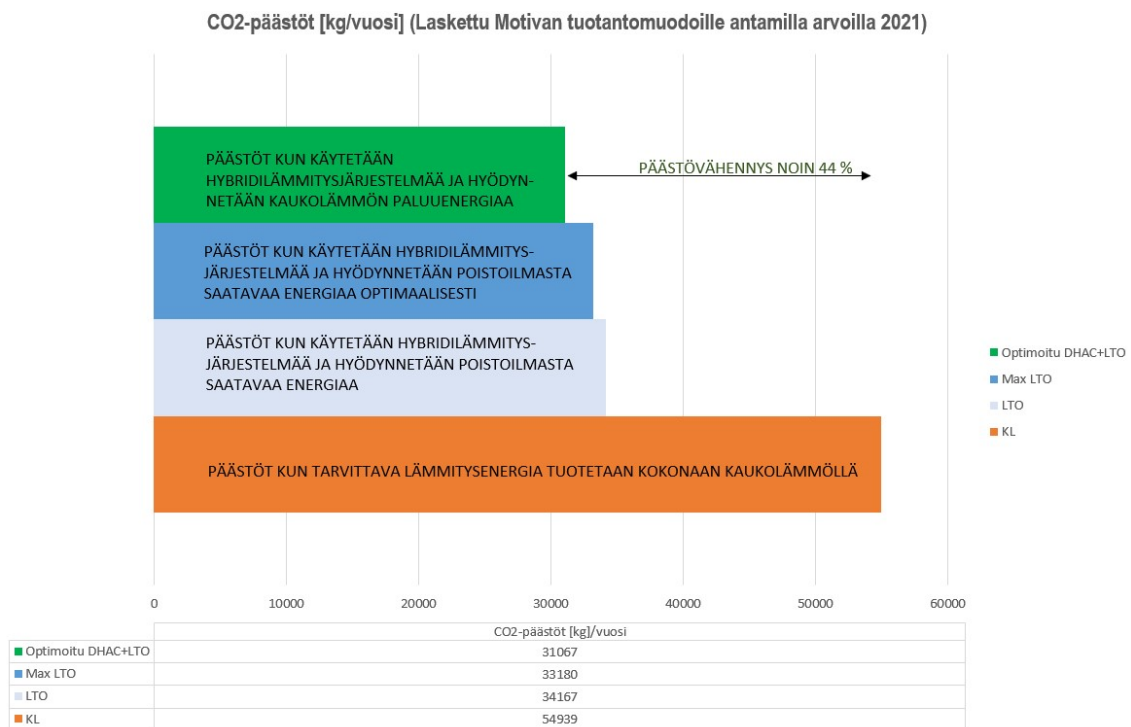


KUVA 19. Tehontarve ja lämpöpumpun tuotto ulkolämpötilan funktiona tehostuspoistotilanteessa

6.2 Hybridijärjestelmän vaikutus hiilidioksidipäästöihin

Hybridijärjestelmän vaikutus hiilidioksidipäästövähennyksiin on merkittävä. Laskennassa käytettiin energiantuottajan ja Motivan käyttämiä tuotantomuotojen päästöarvoja. Kuvassa 20 näkyvässä kaaviossa käytettiin Motivan arvoja. Käytetyt arvot ovat sähköllä 141 kg CO₂/MWh ja kaukolämmöllä 154 kg CO₂/MWh (30). Lämpöpumpun optimoidulla DHAC<O-käytöllä päästöjä voidaan pudottaa noin 44 % verrattuna kaukolämmöllä kokonaan tuotettuun lämmitysenergiaan. Maksimoidulla poistoilman LTO-käytöllä päästövähennys on käytetyillä päästöarvoilla noin 40 %.

Tuotantomuotojen päästöarvojen määrittely on tärkeä vaikuttava tekijä laskennan lopputuloksiin ja niiden tarkasteluun tulisi laatia kansainväliset, kriittisen tarkastelun kestävät standardit. Niissä tulisi huomioida eri energiamuotojen kaikki päästöt tasapuolisesti raaka-aineen tuotannosta ja kuljetuksesta aina loppukäyttöön saakka.



KUVA 20. Laskennallinen hybridijärjestelmän vaikutus CO₂ -päästöihin; oranssi väri on täysin kaukolämmitysmuodolla toteutetun lämmityksen hiilidioksidipäästöt, vaalea väri on pienemmällä LTO-tehon otolla toteutetun, sininen väri on maksimi LTO-tehon otolla toteutetun ja vihreä väri on optimoidulla DHAC<O-käytöllä toteutetun lämmityksen hiilidioksidipäästöt

6.3 Hybridijärjestelmä – ostoenergian vähenemisen taloudellinen vaikutus

Hybridilämmitysjärjestelmällä saavutettu taloudellinen hyöty vaihtelee järjestelmän käyttötapojen ja etenkin energian hinnoittelun mukaan. Kaukolämmön tarve pienenee optimoidulla DHAC<O-käytöllä merkittävästi. DHAC-paluuenergian hinnoittelulla on suuri merkitys laitteiston tuomaan taloudelliseen hyötyyn lämmönkuluttajan näkökulmasta. Kaukolämpöyhtiö, joka tuottaa kaukolämpöenergiaa CHP-tuotantona, hyötyy alemmasta kaukolämmön paluulämpötilasta. Sen vuoksi normaalia kaukolämpöenergian hintaa alempi paluueden energiahinta olisi perusteltu.

DHAC-käytöstä ei tule kiinteistönomistajille taloudellista hyötyä, jos kiinteistö investoi laitteiston kokonaan itse ja kaukolämmön paluuvesienergian hinta on sama kuin tavanomainen kaukolämpöenergian hinta. Päinvastoin ostoenergian hinta jopa nousee, koska osa lämmöstä tuotetaan lämpöpumpun kompressorin kuluttamalla kalliimmalla sähköllä. Pelkästään poistoilmasta saatavalla energiankäytöllä taloudellista hyötyä tulee, kun laitteisto on oikein säädetty. Laitteiston takaisinmaksuajan määrittelee edelleen ostoenergian hinnoittelu ja laskettavan kohteen lämmitysenergiankulutuksen määrä.

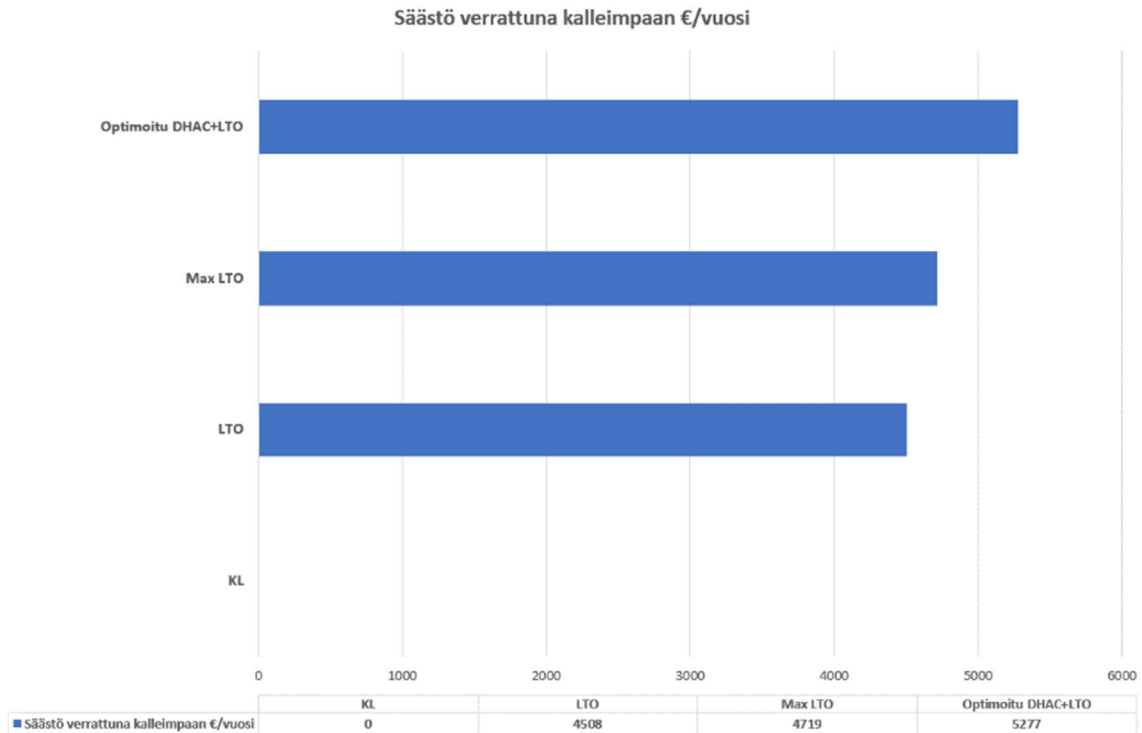
Tämän työn laskennat tehtiin siten, että kaukolämmön hinta oli 56,42 €/MWh ja sähkön hintana käytettiin 129 €/a/MWh. Kaukolämmön hinta on suhteellisen alhainen verrattuna keskimääräiseen suomalaisten energiayhtiöiden hinnoitteluun ja sen vaikutus taloudellisiin laskelmiin eurojen osalta on merkityksellinen. Selvitetyillä prosenttimääräisillä vaikutuksilla vertailua voidaan suorittaa eri energiantoimittajien kesken. Vuositason taloudellisten laskelmien tulokset nähdään kuvan 21 kaaviosta. Laskelmassa DHAC-käytöllä kaukolämmön paluueden energianhinnaksi määriteltiin 10 €/MWh. Laskennassa oletettiin huipputehontarpeen ja sen mukaisen mitoitusvirtaaman laskevan lämpöpumpun tuottomahdollisuuden mukaan. Optimoidulla DHAC<O-käytöllä huipputehontarpeen pudotus olisi 43 kW ja pelkästään LTO-käytöllä 22 kW. Kaukolämmön perusmaksu eri energiantuottovariaatioiden mukaan määriteltiin niiden mukaisilla tehonpudotuksilla tehtyjen laskelmien mukaan.

Edellä kerrotuilla lähtöarvoilla laskettuna vuosittainen lämmitysenergiankäytön kustannus on optimoidulla DHAC<O-käytöllä noin 25 % edullisempi kuin pelkästään kaukolämmöllä tuotetulla energialla. Poistoilman LTO:n maksimoidulla käytöllä pudotus olisi noin 22 %. Kuvan 21 kaaviossa harmaa palkki on ostoenergian kokonaishinta. Tummempi oranssi on kaukolämmön perusmaksu ja vaaleampi oranssi kaukolämmön ja sähkön hinta yhteensä. Arvot ovat euroa/vuosi.



KUVA 21. Hybridijärjestelmän taloudellinen vaikutus laskennassa käytetyillä energianhinnoilla

Laskennassa käytettyjen arvojen mukainen euromääräinen säästö vuositasolla nähdään kuvasta 22. Kohteen pilottiluontoisuuden vuoksi investoinnin takaisinmaksuaikoja ei laskettu. Kaukolämmön paluuv veden energian asiakashinnoitteluun ei ollut saatavissa relevanttia tietoa, mikä vaikeuttaa investoinnin takaisinmaksun arviointia asiakkaan näkökulmasta. Säästölaskelmassa DHAC-käytöllä kaukolämmön paluuv veden energianhinnaksi määriteltiin edellisen kaavion mukaisesti 10 €/MWh.

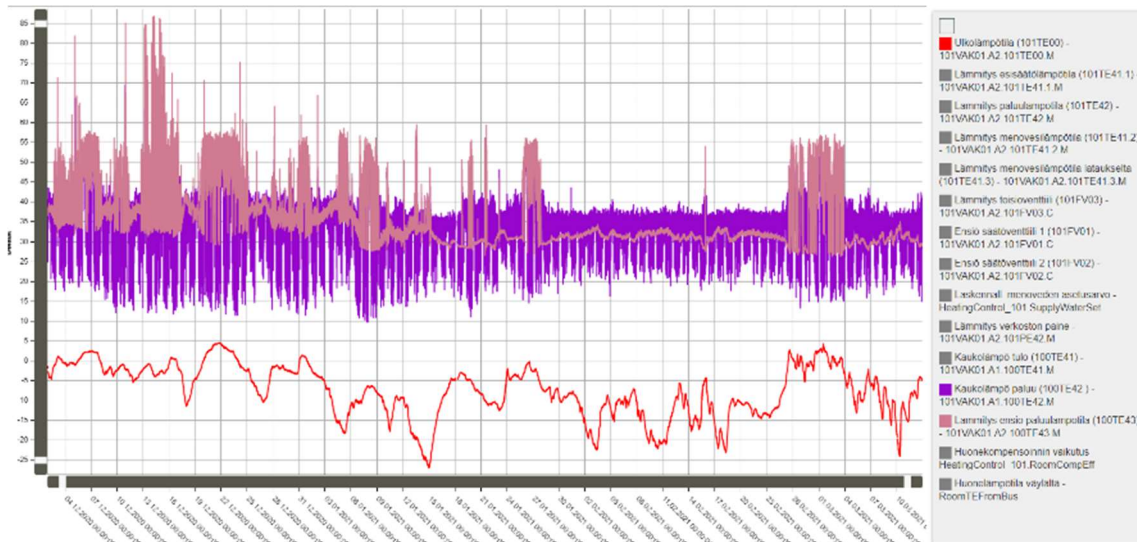


Kuva 22. Hybridijärjestelmän tuoma säästö laskennassa käytetyillä energianhinnoilla [€/vuosi]

6.4 Poistoilman ja kaukolämmön paluueden optimaalinen käyttö keruupiirissä

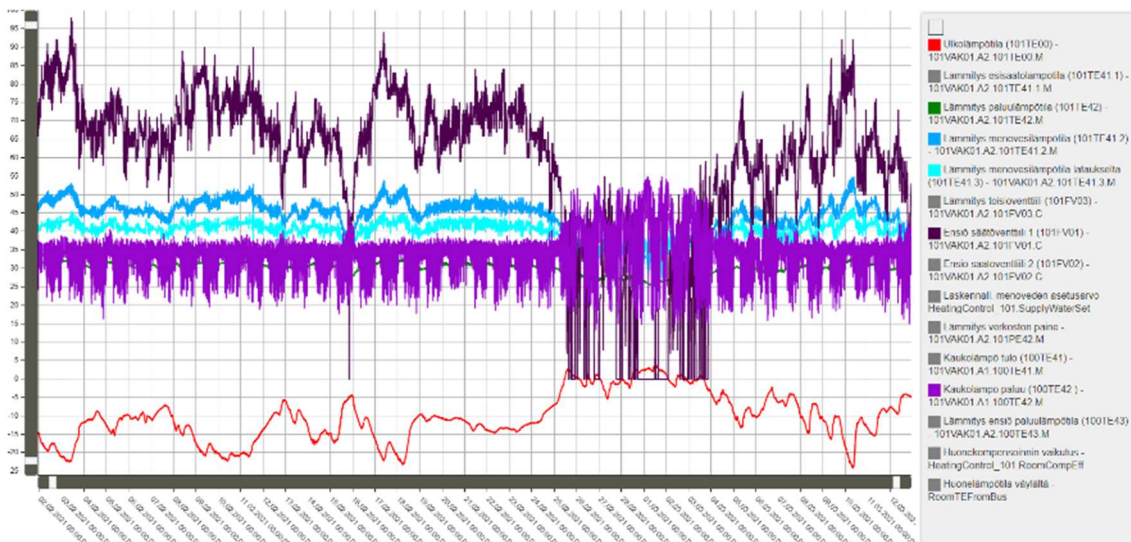
Kuvien 18 ja 19 mukaan kohteen lämpöpumpun tehon mitoitus on erittäin hyvin onnistunut. Lämpöpumppu toimii optimaalisella tehoalueella, silloin kun hukkaenergiat saadaan täysimääräisesti käyttöön. Fiksu-ohjausjärjestelmän mittausten perusteella molempien hukkaenergioiden optimaalinen käyttö on mahdollista öisin, kun käyttöveden kulutusta ei ole. Kohteessa toimii päiväkotia, joka osaltaan vaikuttaa käyttöveden kulutukseen.

Päiväaikainen lämpimän käyttöveden kulutus aiheuttaa suurta DHAC-siirtimelle tulevan kaukolämpöveden lämpötilan vaihtelua. DHAC-siirtimelle tulevan kaukolämpöveden lämpötilan vaihtelu nähdään kuvista 23 ja 24. Kuvassa 23 nähdään välisyöttölämpötila 100TE43 vaaleanpunaisella kuvaajalla. Siinä kohdassa lämmityspiiriltä palaavan veden lämpötila on likimain 35 °C tai korkeampi. Violetilla käyrällä piirretty käyttöveden lämmönsiirtimien jälkeinen kaukolämmön paluueden lämpötilamittaus 100TE42 vaihtelee suuresti käyttöveden kulutuksen mukaan. Kaukolämmön paluueden energiaa käyttävä DHAC-lämmönsiirrin on sijoitettu järjestelmän viimeiseksi osaksi, ennen paluueden siirtymistä kaukolämpöverkkoon (liite 8).



KUVA 23. Kaukolämmön paluuvien lämpötila käyttöveden jälkeen violetilla ja kaukolämpöpaluuvien lämpötila välisyötön jälkeen vaaleanpunaisella värillä, ulkolämpötila punaisella värillä (14)

Kuvasta 24 voidaan havaita selkeästi vuorokaudenajan mukaan tapahtuva kaukolämmön paluuvien lämpötilatasojen vaihtelu. Käyttöveden siirtimien jälkeinen kaukolämmön paluulämpötila on kuvassa näkyvä violetti trendiviiva. Lämpöpumpun ja koko järjestelmän toimivuuden kannalta mahdollisimman stabiili lämpötilataso olisi edullisinta. Järjestelmän suurien massavirtojen vuoksi turha venttiileiden edestakainen ajo tulisi minimoida.



KUVA 24. Kaukolämmön paluuvien, lämpötilan vaihtelu vuorokaudenajan mukaan (violetti trendiviivan väri) (14)

6.5 Keruupiirin liuoksen virtaamien optimointi

Lämpöpumppujärjestelmän optimaalisimman toiminnan kannalta keruupiirin virtaamat täytyy mitoitaa poistoilman tilanteen ja ulkolämpötilan perusteella määräytyvien tehontarpeiden mukaan. Keruupiirin virtaamat laskettiin optimoitujen saatavissa olevien tehojen mukaan DHAC-siirtimelle ja poistoilman LTO:lle. Laskettujen virtaamien toteuttaminen käytännössä vaatii DHAC-siirtimeltä saatavaa laskettua tehoa. Tehon saaminen edellyttää luvussa 6.4 esitetyn DHAC-siirtimen kytkennän muuttamisen.

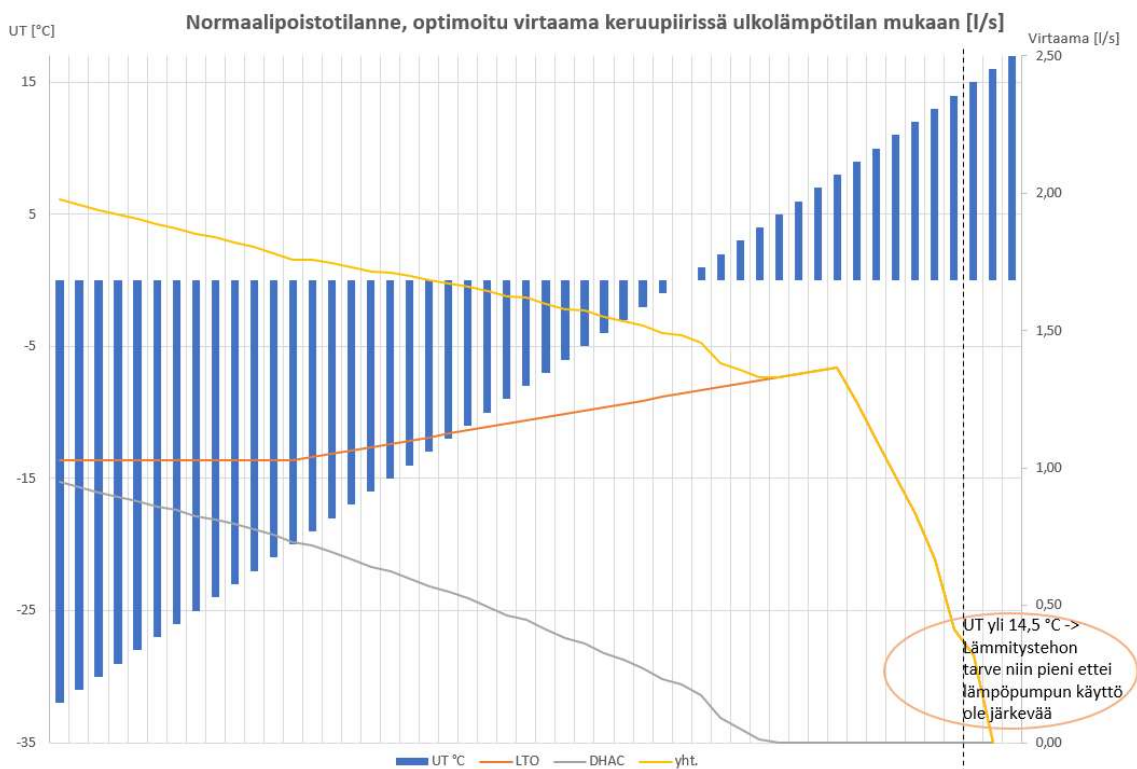
Työn kohteessa ei ole käyttövesivaraajaa, joka toimisi myös lämpöpumpulta saatavan tehon tasajaksailijana. Käyttövesivaraajilla varustetuissa järjestelmissä keruupiirin ylimitoitettu virtaama ei aiheuta niin paljon koko prosessin huojuntaa kuin kohteen tyyppisessä järjestelmässä. Ulkolämpötilan mukaan mitoitettujen tehontarpeiden mukaisesti tapahtuva keruupiirin virtaaman ohjaus on tässä kohteessa lämpöpumpun toiminnan kannalta stabiili säätötapa. Keruupiirin pumpun suhteellisen säädön ohjauksella on mahdollista päästä lähelle laskennallisia haluttuja virtaamia. Järjestelmän useiden muuttujien yhtäaikainen säätö on vaikeasti hallittava, mikäli jokaista järjestelmässä tapahtuvaa muutosta seurattaisiin tarkasti. Turvallisen toiminnan kannalta määritellyt toimintarajat säätimille täytyy kuitenkin asettaa.

6.5.1 Optimoidut keruupiirin virtaamat normaali-ilmanvaihtotilanteessa

Kuvassa 26 näkyvästä kaaviosta nähdään normaalipoistoilmatilanteen mukainen keruupiirin virtaama yhteensä sekä DHAC:lle ja LTO:lle erikseen laskettuna. Virtaamassa tapahtuu käänne alaspäin normaalipoistotilanteessa kuvan 26 mukaisesti noin 8 °C:n ulkolämpötilassa. Sama käänne tapahtuu tehostuspoistotilanteessa kuvan 27 mukaisesti noin 6,5 °C:n ulkolämpötilassa. Kohdissa lämmitystehontarve putoaa ja samanaikaisesti lämpöpumpun kylmäaineen massavirta pienenee, koska invertteriohjaus ajaa kompressorin kierrosnopeutta alaspäin. Keruupiirin virtaama mitoitettiin poistoilmasta halutun tehon ja lämpöpumpun kylmäainekierron mukaan. Liuoksen lämpötilaerona (ΔT) höyrystimellä käytettiin 4K. Virtaaman oikealla säädöllä saavutetaan keruupiirin nesteen haluttu lämpötilataso.

Kuviin 26 ja 27 on merkattu katkoviivalla ulkolämpötilaraja, jonka jälkeen lämpöpumppua ei ole järkevää käyttää työn kohteena olevassa rakennuksessa. Lämpöpumpun käytön kokonaishyötysuhde menee heikoksi katkoviivalla merkityn ulkolämpötila-alueen jälkeen, koska lämmitystehon tarve on erittäin vähäinen.

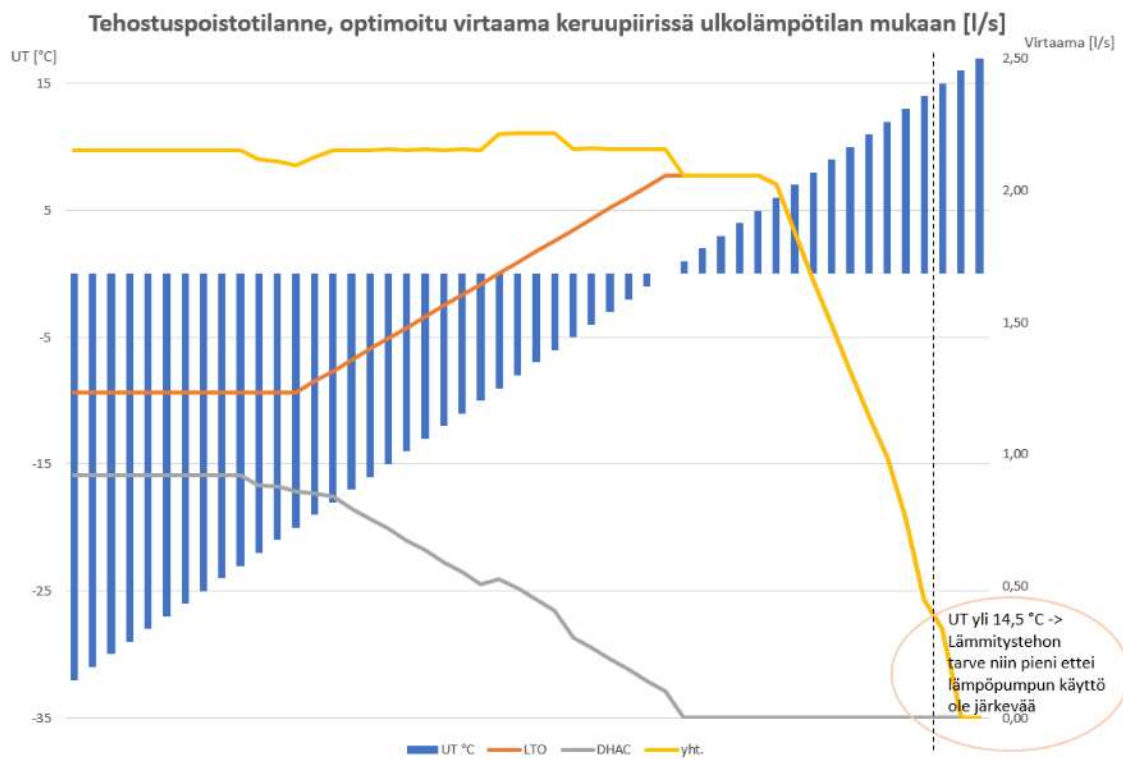
Kuvasta 26 nähdään normaalipoistoilmanvaihdon mukaiset keruupiirin virtaamat. Kaaviossa oikeanpuoleiselta pystyakselilta on luettavissa keruupiirin virtaama (l/s) ja vasemmanpuoleiselta pystyakselilta ulkolämpötila (°C).



KUVA 26. Optimoitu keruupiirin virtaama normaalipoistotilanteessa; sininen palkki on ulkolämpötila ja 0 °C on rusetin käännekohtassa, harmaa trendiviiva on DHAC-siirtimen virtaama, oranssi trendiviiva on LTO-siirtimen virtaama ja keltainen molempien yhteinen virtaama

6.5.2 Optimoidut keruupiirin virtaamat tehostusilmanvaihtotilanteessa

Kuvassa 27 olevasta kaaviosta nähdään tehostuspoistoilmanvaihtotilanteen mukaan lasketut optimoidut keruupiirin virtaamat. Virtaamat molemmille poistoilmatilanteille mitoitettiin siten, että lämmönsiirron poistoilmasta oletettiin tapahtuvan kuivana. Lämmityskaudella lämmönsiirto tapahtuu suurimmalta osin kuivana. Syksyllä poistoilman suhteellinen kosteus on korkeampi, ja lämmöntalteenotossa voi tapahtua kosteuden tiivistymistä. Se lisää saatavissa olevaa tehoa, mikäli sille on tarvetta. Tehon ottoa poistoilmasta kannattaa kuitenkin rajoittaa siten, että lämmöntalteenottoaite ei pääse jäätymään.



KUVA 27. Optimoitu keruupiirin virtaama tehostuspoistotilanteessa; sininen palkki on ulkolämpötila ja 0 °C on rusetin käännekohtassa, harmaa trendiviiva on DHAC-siirtimen virtaama, oranssi trendiviiva on LTO-siirtimen virtaama ja keltainen molempien yhteinen virtaama

6.6 Energiamittareiden kalibrointi

Hybridijärjestelmien energiamittauksissa käytetään usein ultraäänitekniikkaa. Pääsääntöisesti energiamittaukset toimivat kokemusten mukaan hyvin, kun mitataan arvoja vesipuolelta. Erilaiset liuokset ja niiden tosiasiallisen vahvuuden vaihtelevuus tuo mittaukselle haastavuutta. Energia- mittarit tulee hybridijärjestelmissä kalibroida käytetyn liuoksen mukaisiksi, jotta keruupiirin mittauksissa päästään oikeanmukaiseen tulokseen. Liuoksen vahvuus tulee varmistaa mittaamalla. Mittareiden kalibrointi on erittäin tärkeää, mikäli energiamittareiden antamaa tietoa käytetään säädön ohjaamiseen. Keruupiirin tehonmittauksen määrittelyn tukena voidaan käyttää myös vesi- tai ilmapuolelta saatavia arvoja siltä osin, kun niitä on käytettävissä.

6.7 Höyrystymislämpötilan nostaminen

Keruupiirin lämpötilaa ja siten lämpöpumpun höyrystymislämpötilaa olisi mahdollista nostaa DHAC-siirtimellä kaukolämmön ensiöpuolen energialla ohitusventtiilin kautta. Keruupiirin suurien massavirtojen vuoksi höyrystymislämpötilaa ei ole järkevää nostaa taloudelliset ja päästönäkökulmat huomioiden. Keruupiirin lämpötilan nostaminen heikentää merkittävästi poistoilmasta saatavan energian määrää, koska LTO-laitteelle menevän keruupiirin nesteen ja poistoilman lämpötilan ero pienenee.

6.8 Lämpöpumpun käytön jatkuva maksimointi

Lämpöpumpun käytön jatkuva maksimointi on sillä tasolla erittäin kannattavaa, kun hukkalämpöjä pystytään hyödyntämään. DHAC-siirtimen kautta lämpöpumpulle kannattaa ottaa vain se energia, joka on kaukolämmön paluuvdestä otettavissa. Ohitusventtiilin kautta otettavan kaukolämmön ensiöpuolen energian käyttö lämpöpumpulle ei ole tavanomaisessa tilanteessa järkevää. Hybridijärjestelmään myöhemmin liitettävä aurinkosähköjärjestelmä voi aurinkoisina kevättalven päivinä tehdä poikkeuksen, koska sähkön käyttö on silloin edullista. Optimistisimmassa skenaarioissa myös verkosta ostettava sähkö voidaan joskus tulevaisuudessa saada tuotettua kaukolämpöä edullisemmin.

Kohteen lämmitystehontarve putoaa noin 14,5 °C:n ulkolämpötilassa niin alas, että lämpöpumpun käyttö ei ole järkevää sen yläpuolisissa ulkolämpötiloissa (kuvat 18 ja 19). Kyseisen ulkolämpötilan yläpuolella LKV-kierrolle ei myöskään saada tarvittavaa energiaa tulistuksen poistosta, koska kuumakaasun lämpötila ei nouse kompressorin invertterisäädön seurauksena riittävästi. Kohteessa ei ole käyttövesivaraajaa ja käyttöveden hetkittäisen tehontarpeen vuoksi lämpöpumppua ei ole hyödyllistä käyttää. Kohteessa on mahdollisuus käyttää lämpöpumppua käyttöveden esilämmitykseen siirtimen välityksellä, mutta pelkästään satunnainen käyttöveden tarpeeseen ajo aiheuttaa lämpöpumpulle haitallista pätkäkäyntiä. Kesäaikana kohteen lämmitysenergian tarve on kokonaistaloudellista hoitaa pelkästään kaukolämpöenergialla.

Kaukolämpöyhtiöllä voi tulla jossakin kohtaa tilanne, että sillä on tarve ajaa suurta kaukolämmön määrää käyttöön tai se joudutaan muutoin ajamaan hukkaan. Lämpöpumpun toiminta on kannattavinta ajaa alas, mikäli energiayhtiö on kohteen mukaisessa ratkaisussa investoijana ja tarve kaukolämmön käytölle on jostakin syystä suuri. Hybridilämmitysjärjestelmän eduksi voidaan lukea sen tuoma mahdollisuus käyttää pelkästään kaukolämpöä.

6.9 Automaation merkitys järjestelmässä

Hybridijärjestelmä sisältää suuren joukon erilaisia säätöpiirejä. Jokainen säätötoimenpide jossakin kohtaa vaikuttaa koko järjestelmään. Toimivan automaation merkitys kohteen tyyppisessä hybridiratkaisussa on erittäin suuri. Järjestelmän optimoitu käyttö ei ole mitenkään mahdollista, ellei säätöjä saada toimimaan jokaiselle kohteelle sen ominaistarpeiden mukaisesti. Varmin tapa päästä toimivaan ratkaisuun on ottaa kokonaisratkaisu yhdeltä ja samalta toimijalta. Tämän työn kohteessa oleva järjestelmä on kokonaistoimitusratkaisu, jonka säätömahdollisuudet ovat monipuoliset ja kattavat.

7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää kohteeseen asennetun pilottiluonteisen hybridijärjestelmän optimaalinen käyttötapa. Pilottiluonteisuus tulee tässä kohteessa kaukolämmön paluueden hyödyntämisestä lämpöpumpulla. Hybridijärjestelmien käytön optimointia ja järjestelmistä saatavaa hyötyä tulee tarkastella kokonaisuutena. Kysyntäjoustoa tulee hyödyntää ja päästönäkökulmasta käyttää sitä energiaa, joka on kulloisellakin hetkellä vähäpäästöisintä. Toisaalta energian kulloinenkin pörsihinta voi olla vielä pitkään merkityksellinen tekijä isojen kiinteistömassojen ratkaisuihin. Päästökaupan myötä talous- ja päästömittarit kulkevat kuitenkin nykyisin lähellä toisiaan.

Tuulivoima sähköntuotannossa tulee lisääntymään merkittävästi ja jossakin kohtaa tulevaisuudessa voi olla tilanne, että sähkönkäyttö on sopivan tuulisella säällä lähes yhtä edullista kuin kaukolämmön käyttö. Edellä mainitun kaltaisen tilanteen realisointi avaisi uusia mahdollisuuksia optimoida päästövähennyksiltään edullisin energiankäyttömuoto. Esimerkiksi tämän työn kohteena olevan DHAC-järjestelmän kautta voi olla kannattavaa ottaa kaukolämmön ensiöpuolen energiaa lämpöpumpun keruupiiriin siinä kohtaa, kun sähkön hinta laskee kaukolämmön hinnan alapuolelle. Päästövähennysten ja myös taloudellisesta näkökulmasta keruupiiriin otettava energia täytyy kuitenkin ottaa mahdollisimman tarkasti hukkalämmönlähteistä. Hybridilämmitysjärjestelmien hyötyjä arvioitaessa jää usein huomioimatta niiden tuoma mahdollisuus käyttää pelkästään kaukolämpöä, silloin kun se on edullisinta.

Tietoisuus ihmisen vaikutuksesta ilmastoon lämpenemiseen vaikuttaa lisääntyvässä määrin kansalaisten tekemiin ratkaisuihin. Lämpöpumppujärjestelmiin kohdistuva kiinnostus lisääntyy kiihtyvällä tahdilla, niiden mahdollistamien päästövähennysten vuoksi. Arvokkaat investoinnit lämpöpumppuratkaisuihin täytyy suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Lämpöpumppuratkaisujen vaikutus kiinteistön kaukolämmöntarpeeseen on merkittävä.

Kaukolämpöyhtiöiden etujärjestönä toimii Energiategollisuus ry. Etujärjestön laatimat suunnitteluohjeet ja kaaviot hybridilämmitysjärjestelmille voivat jossakin määrin estää tehokkaan lämpöpumppujen avulla saatavan hiilidioksidipäästövähennyspotentiaalini täysimääräistä hyödyntämistä. Riittävän kaukolämmön paluueden jäähtymän saavuttaminen on aiemmin ollut määräävä peruste vain tiettytyypisille hybridikytkennöille. Jäähtymä saadaan riittävän suureksi kytkemällä lämpöpumppujärjestelmä kaukolämmön paluueden puolelle.

Lämpöpumpuilla voidaan ottaa energia yksittäisen kiinteistön kaukolämmön paluuedestä tai energiyhtiö voi halutessaan rakentaa isomman lämpöpumpputjärjestelmän kaukolämmön paluueden runkolinjasta otettavan energian hyödyntämiseen. Tämä mahdollistaa tehokkaamman lämpöpumpujen hyödyntämisen ja etenkin kaukolämpöjärjestelmän tehokkaamman energiankäytön sekä erilaisten kytkentämallien rakentamisen.

Kaukolämpöyhtiöillä on syytä pohtia nopeita ratkaisuja suhtautumisessaan lämpöpumpputjärjestelmien rakentamisasteeseen. Yksi mahdollisuus voisi olla kaukolämpöyhtiöiden tarjoamat leasing-tyyppiset ratkaisut taloyhtiöille, missä myyntituote olisi sovittu lämpötilataso kiinteistössä, sopimuksen mukaisella hinnalla. Kaukolämpöyhtiö olisi siinä tapauksessa investoinnin takana ja säilyttäisi näin ollen täysimääräisen asiakassuhteensa. Ammattimaisen toiminnan mahdollistamana hybridijärjestelmien tuoma päästövähennyspotentiaali on varmemmin saavutettavissa kuin yksittäisten taloyhtiöiden omalla vastuulla olevat järjestelmät. Kaukolämpöyhtiöiden on hyvä tiedottaa säännöllisesti tuotantomuotojensa hiilidioksidipäästötrendejä ja laskelmien oikeanmukaisuuden tulee olla helposti todennettavissa.

Kaukolämpöyhtiöiden tulovirran pienentyminen vaikuttaa koko maan kansantalouteen. Tulovirran pienentyminen voi johtaa veronkorotuksiin niissä kaupungeissa, joissa kaukolämpötoiminnalla saadaan merkityksellinen kuntatalouden jatke. Kaukolämpöverkkoihin tehdyt investoinnit ovat merkittäviä monilla paikkakunnilla, ja niissä on kiinni suuret määrät kansallisvarallisuutta. Tämän vuoksi kaukolämpöverkon piirissä olevien kiinteistöjen siirtyminen lämpöpumpputjärjestelmien käyttäjiksi koskettaa jollakin tapaa jokaista maamme kansalaista. Hybridilämmitysjärjestelmiä käyttävät kiinteistöt pysyvät kuitenkin edelleen kaukolämpöyhtiön maksavina asiakkaina toisin kuin kokonaan maalämpöjärjestelmien käyttöön siirtyvät kiinteistöt.

Tämän työn kaltaisten DHAC-järjestelmien käyttö etenkin kaukolämpöverkon kauimmaisissa osissa voisi olla erittäin järkevää alhaisemman kaukolämpöverkon paluulämpötilan tuomien hyötyjen vuoksi. Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotanto voi parhaimmillaan saada hyötyä hyvin suunnitelluista DHAC-järjestelmistä. Taloudellisessa mielessä suurin hyötyjä DHAC-järjestelmien yleisty-misessä olisikin kaukolämpöyhtiö. Kaukolämpöyhtiön intressi ei oletettavasti ole myydä mahdollisimman halvalla kaukolämmön paluueden energiaa, koska se vähentää suorassa suhteessa normaalihinnalla ostettavaa ensiöpuolen energiankäyttöä. Asiakkaan näkökulmasta samalla kaukolämmön meno- ja paluueden hinnoittelulla paluueden energiankäyttö lisää kokonaishintaa, koska

osa tarvittavasta energiasta joudutaan tuottamaan kalliimmalla lämpöpumpun käyttämällä sähköenergialla.

Yksittäisissä kohteissa järjestelmän suunnitteluun ja etenkin sen toimintaan oleellisesti vaikuttavan automaatiojärjestelmän toimivuuteen tulee kiinnittää huomiota. Huonosti toimiva laitteisto aiheuttaa suuria huolto- ja ylläpitokustannuksia. Pahimmillaan sen aikaansaama ilmasto vaikutus voi olla negatiivinen. Varmin tapa saada toimiva laitteisto on hankkia se kokonaistoimituksena, johon kuuluu myös automaatiojärjestelmä. Laitteiston toiminnan käyttöönotossa tulee olla huolellinen, jotta järjestelmä toimii kiinteistölle ominaisten tarpeiden mukaan. Hyvin optimoidulla järjestelmällä voidaan saavuttaa kiinteistökohtaisesti hyvinkin merkittäviä päästövähennyksiä.

Taloudellisessa mielessä edullisin laitteisto ei ole useinkaan lämpökertoimeltaan korkein. Lämpökertoimen parantamiseen on useita ratkaisuja, mutta yleensä niistä tulee merkittäviä lisäkustannuksia. Tuotetun lämmön kokonaishinta tulee olla mahdollisimman alhaalla kaikki kustannukset huomioiden.

Edellä mainitusta huolimatta ilman uusia innovatiivisia kehitysratkaisuja ei tulevaisuuden hiilineutraali lämmöntuotanto ole mahdollista. Tämän työn kaltaiset järjestelmät ovat ehdottomasti optimoitavissa ja kehiteltävissä puhtaamman energiantuotannon käyttöön.

LÄHTEET

1. Euroopan parlamentin portaali. Faktatietoja Euroopan unionista. Talous. Energiatehokkuus. Hakupäivä 25.1.2021. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/69/energiatehokkuus>.
2. Känkänen, Juha, Patronen, Jenni, Vile´n, Kari & Saarela, Jaakko 2017. Päästökauppadirektiivin uudistamisen vaikutukset Suomen energiasektoriin ja teollisuuteen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2017. Hakupäivä 17.3.2021 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80227/56_Loppuraportti_paastokauppa_.pdf.
3. Pylsy, Petri & Virta, Jari 2011. Taloyhtiön energiakirja. Kiinteistöalan kustannus Oy. Helsinki. Hakupäivä 22.2.2021. https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja.
4. EU:n Horizon 2020 -ohjelma. Making City -hanke. Hakupäivä 25.1.2021. <http://makingcity.eu/>.
5. Oulun kaupunki 2018. Tiedote: Oulussa kehitetään vähähiilisyttä osana kansainvälistä hanketta. Hakupäivä 19.2.2021. https://www.ouka.fi/oulu/ajankohtaista/uutiset-ja-tiedotteet/-/aset_publisher/s8Z1/content/oulussa-kehitetaan-vahahiilisytta-osana-kansainvalista-hanketta-making-city.
6. Pohjola, Heikki, energia-asiantuntija, Pakkanen Pauli, huoltopäällikkö & Puotiniemi Kari, rakennuttajapäällikkö. Opinnäytetyön tilaajan yhteyshenkilöt. Oulun Sivakka Oy. Oulu. Kohteen kiinteistö tiedot. Haastattelut 2020–2021.
7. Satuli, Heli 2018. Kaukolämmön kilpailukyky keskusteluttaa – Tuplaverotus vaikeuttaa myös ilmastotavoitteiden saavuttamista. Fortum Oyj. Hakupäivä 24.2.2021. <https://www.mustread.fi/artikkelit/kaukolammon-kilpailukyky-keskusteluttaa-tuplaverotus-vaikeuttaa-myo-ilmastotavoitteiden-saavuttamista/>.
8. Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Hakupäivä 24.2.2021. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>.

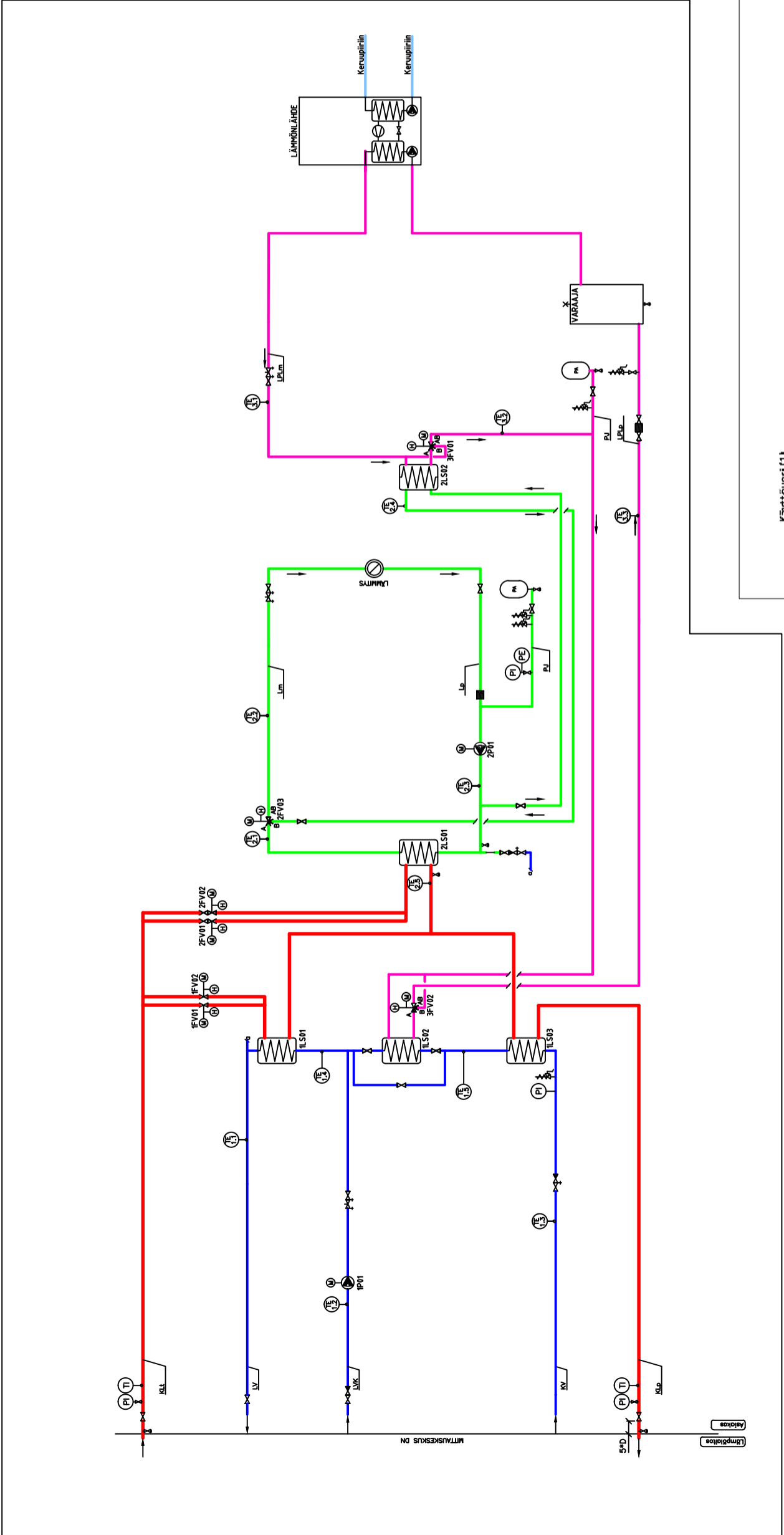
9. Euroopan komissio. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Bryssel. 2016. Hakupäivä 24.2.2021. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-51-EN-F1-1.PDF>.
10. Niemi, Rami, Rämä, Miika & Similä, Lassi 2015. Asiakasraportti: Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. VTT. Hakupäivä 25.1.2021. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>.
11. Suomen ympäristöministeriö 2018. 1010/2017. Liite 1. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki. Hakupäivä 25.1.2021. <https://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6800.pdf>.
12. Anttonen, Kari 2011. Kaukolämpöverkon paluuveden hyödyntäminen lämmityksessä. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan koulutusohjelma. Hakupäivä 24.2.2021. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/73946/Diplomity%C3%B6%20Kari%20Anttonen%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
13. HögforsGST Oy – Oulun Sivakka Oy 2020. Kaukolämmön kytkentäkaavio. Sisäinen lähde.
14. HögforsGST Oy – Oulun Sivakka Oy 2021. Fiksu-ohjausjärjestelmä. Sisäinen lähde.
15. HögforsGST Oy 2016. Tekninen esite. Hakupäivä 25.2.2021. <https://www.hybridilto.fi/download/tekninen-esite-rsp-lto-1000-s-sarja/>.
16. Ouman Oy – Oulun Sivakka Oy 2021. Ounet-rakennusautomaatio. Sisäinen lähde.
17. Pantsar, Reijo 2021. Kehitysinsinööri. Oulun Energia Oy. Oulu. Teams-palaveri 10.2.2021.
18. Motiva 2019. Kiinteistön energiankäyttö. Kulutuksen normitus. Hakupäivä 1.3.2021. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus).

19. Suomen ympäristöministeriö 2011. Rakennusten energianlaskennan testivuodet. Rakentaminen ja maankäyttö. Helsinki. Hakupäivä 1.3.2021. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Testivuosien_kuvaus-8D997677_9ECB_49DC_9D73_9DD93C1C875E-31275.pdf/935ac475-cd8f-5681-4e6e-ba90328f6572/Testivuosien_kuvaus-8D997677_9ECB_49DC_9D73_9DD93C1C875E-31275.pdf?t=1603260234593.
20. Suomen ympäristöministeriö 2017. 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki. Hakupäivä 1.3.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>.
21. Ilmatieteenlaitos. Lämmitystarveluvut. Hakupäivä 2.3.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>.
22. Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti, Kianta, Jani & Kaappola, Esko 2014. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
23. Hakala, Pertti & Kaappola, Esko 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
24. Ronkainen, Jouko. Kylmätekniiikan ammattilainen. Are Oy. Oulu. Puhelinkeskustelu 30.1.2021.
25. Thermia Finland Oy 2019. Thermia Mega -tekninen kuvaus. Sisäinen lähde.
26. Aittomäki, Antero 2012. Kylmätekniiikka. 4.painos. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.
27. Keinänen, Mikko 2016. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalossa. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 12.3.2021. <https://www.theseus.fi/handle/10024/112651>.
28. FINVAC ry 2019. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. IV-suunnittelun oppaat. Hakupäivä 13.3.2021. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf.

29. Motiva 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Hakupäivä 13.3.2021. https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf.
30. Motiva 2020. CO₂-päästökertoimet. Hakupäivä 13.3.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet.

LIITTEET

Hybridikytkentä. Energiateollisuus ry. Suunnitteluohje 2017.	Liite 1
Säätiedot säävyöhykkeittäin. Säävyöhyke III	Liite 2
Kohteen energiankulutuksen normeeraus	Liite 3
Mollier-tilapiirros. LTO-kastepiste ja DHAC-kastepiste	Liite 4
Hybridihyötylaskuri, kuukausitietotaulukko	Liite 5
Hybridihyötylaskuri, tulossivu ja CO ₂ -päästöt	Liite 6
Hybridihyötylaskuri, tulossivu, eurot ja ostoenergian kulutus	Liite 7
DHAC-sijainti kytkentäkaaviossa	Liite 8



Käyttöviesi (1)

Käyttöveden lämmityksessä hyödynnetään lämminkeuhajärjestelmä tuotetusta lämmöstä osaa, jota ei lämmityksessä tarvita.

Sääző
Säädin säätää menoveden lämpötilan anturin mittauksen perusteella säätöventtiilin sijasta pitäen käyttöveden lämpötilan asetusarvoon.
Asetusarvo on 58°C.

LKV pumpun
Käyttöveden kiertovesipumpun käyttäminen. Pumpun käyttötilan muuttuessa seuraa haluttu.

Lämmityspiiri (2)
Sääző
Säädin ohjaa lämmityksen menoveden mittauksen perusteella säätöventtiilin sijasta pitäen lämmityksen menoveden lämpötilan säätökäyrän mukaisesti asetusarvoon.

Lämmitysvesi
Lämmitysvesijärjestelmän osassa varustettuna lämminkeuhajärjestelmä, lämmitetään ensisijaisesti lämminkeuhajärjestelmän tuottamalla lämmöllä. Lisälämmönlähteellä varmistetaan lämmön riittävyys.

Lämpötila
Lämmityspiiri on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

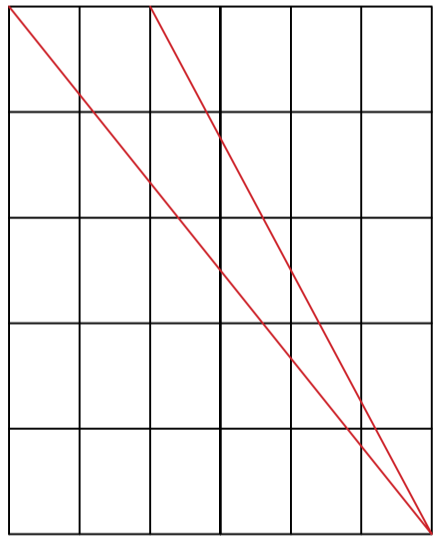
Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

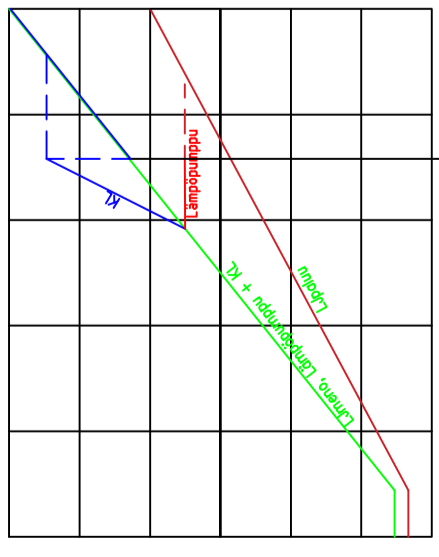
Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

Lämpötila
Lämpötila on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen ja jessä oleva jälkimmäinen esisäätöpiiri mukautuu jälkimmäisen toiminnan asetuksiin. Jälkimmäinen toimii säätöpiirinä, joka kytkettyvät välillä järjestelmään.

1 PATERVERKOSTON TOIMINTALÄMPÖTILAT



1 PIIRIN TOIMINTALÄMPÖTILAT



ULKOKILMAN LÄMPÖTILA °C

ULKOKILMAN LÄMPÖTILA °C

Taulukko LI.3. Säätiidot kuukausittain säävyöhykkeellä III. Jyväskylä.

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, T_{u} , °C	Auringon kokonaissätei- lyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$, kWh/m ²
Tammikuu	-8,00	5,4
Helmikuu	-7,10	20,1
Maaliskuu	-3,53	51,9
Huhtikuu	2,42	102,9
Toukokuu	8,84	171,4
Kesäkuu	13,39	159,1
Heinäkuu	15,76	158,2
Elokuu	13,76	113,9
Syyskuu	9,18	71,1
Lokakuu	4,07	25,3
Marraskuu	-1,76	7,3
Joulukuu	-5,92	3,2
Koko vuosi	3,43	890

Todellinen mitattu kulutus.

2014					2015					2016					2017					2018					2019				
h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT
744	Tammi	58,703	5,800	-10,4	744	Tammi	50,475	5,800	-7,4	744	Tammi	66,288	5,800	-13,4	744	Tammi	49,349	5,800	-5,5	744	Tammi	49,370	5,800	-6,6	744	Tammi	58,200	5,800	-12,5
672	Helmi	36,398	5,239	-1,3	672	Helmi	37,780	5,239	-2,2	672	Helmi	43,580	5,239	-3,9	672	Helmi	45,956	5,239	-6,6	672	Helmi	52,110	5,239	-12,9	672	Helmi	44,020	5,239	-6,6
744	Maalis	36,063	5,800	-0,3	744	Maalis	35,700	5,800	-0,2	744	Maalis	40,195	5,800	-1,8	744	Maalis	40,203	5,800	-3,1	744	Maalis	46,180	5,800	-7,8	744	Maalis	40,710	5,800	-3,7
720	Huhti	28,060	5,613	2,4	720	Huhti	27,062	5,613	3,1	720	Huhti	28,557	5,613	3	720	Huhti	29,161	5,613	-0,2	720	Huhti	25,390	5,613	1,6	720	Huhti	23,050	5,613	3,5
744	Touko	18,179	5,800	8,7	744	Touko	17,212	5,800	8,4	744	Touko	14,806	5,800	10,5	744	Touko	18,502	5,800	4,8	744	Touko	12,650	5,800	11,5	744	Touko	15,580	5,800	7,7
720	Kesä	9,619	5,613	11,9	720	Kesä	9,451	5,613	11,7	720	Kesä	9,458	5,613	13,4	720	Kesä	8,910	5,613	12,4	720	Kesä	6,880	5,613	12,5	720	Kesä	7,000	5,613	14,5
744	Heinä	5,110	5,800	19,2	744	Heinä	6,179	5,800	14,5	744	Heinä	5,610	5,800	17,4	744	Heinä	6,580	5,800	15,7	744	Heinä	5,530	5,800	20,7	744	Heinä	6,130	5,800	15,2
744	Elo	6,191	5,800	15,6	744	Elo	6,002	5,800	14,8	744	Elo	9,245	5,800	13,7	744	Elo	8,410	5,800	13,8	744	Elo	6,000	5,800	15,6	744	Elo	6,620	5,800	13,9
720	Syys	13,884	5,613	10,1	720	Syys	11,550	5,613	11	720	Syys	16,766	5,613	10,1	720	Syys	12,860	5,613	9,1	720	Syys	11,040	5,613	10,6	720	Syys	15,280	5,613	9
744	Loka	34,246	5,800	1,4	744	Loka	27,456	5,800	3,7	744	Loka	30,444	5,800	3,3	744	Loka	28,360	5,800	2,9	744	Loka	27,340	5,800	3,7	744	Loka	33,290	5,800	1,9
720	Marras	39,396	5,613	-1,2	720	Marras	30,615	5,613	2,2	720	Marras	44,295	5,613	-3,1	720	Marras	35,590	5,613	-0,6	720	Marras	33,450	5,613	1,7	720	Marras	42,100	5,613	-3,1
744	Joulu	43,375	5,800	-3,5	744	Joulu	44,083	5,800	-2,4	744	Joulu	47,572	5,800	-4,2	744	Joulu	42,250	5,800	-3,3	744	Joulu	46,670	5,800	-4,5	744	Joulu	40,890	5,800	-1,9
8760		329,223	68,290	4,38	8760		303,565	68,290	4,77	8760		356,815	68,290	3,75	8760		326,131	68,290	3,28	8760		322,61	68,29032	3,84	8760		332,87	68,29032	3,16
	Lämmitysverkko	260,9330104				Lämmitysverkko	235,2751				Lämmitysverkko	288,5245				Lämmitysverkko	257,8407				Lämmitysverkko	254,3197				Lämmitysverkko	264,5797		
	Veden lämmitys	20,74 %				Veden lämmitys	22,50 %				Veden lämmitys	19,14 %				Veden lämmitys	20,94 %				Veden lämmitys	21,17 %				Veden lämmitys	20,52 %		

Oulu					Oulu					Oulu					Oulu					Oulu					Oulu				
Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus					Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus					Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus					Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus					Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus					Lämmitystarveluvulla korjattu kulutus				
h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT	h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT
744	Tammi	57,145	5,800	-10,4	744	Tammi	54,429	5,800	-7,4	744	Tammi	58,655	5,800	-13,4	744	Tammi	57,210	5,800	-5,5	744	Tammi	54,913	5,800	-6,6	744	Tammi	52,989	5,800	-12,5
672	Helmi	50,483	5,239	-1,3	672	Helmi	50,119	5,239	-2,2	672	Helmi	52,262	5,239	-3,9	672	Helmi	50,877	5,239	-6,6	672	Helmi	46,840	5,239	-12,9	672	Helmi	48,838	5,239	-6,6
744	Maalis	44,024	5,800	-0,3	744	Maalis	43,778	5,800	-0,2	744	Maalis	45,741	5,800	-1,8	744	Maalis	43,125	5,800	-3,1	744	Maalis	41,395	5,800	-7,8	744	Maalis	42,671	5,800	-3,7
720	Huhti	29,389	5,613	2,4	720	Huhti	29,589	5,613	3,1	720	Huhti	31,259	5,613	3	720	Huhti	26,875	5,613	-0,2	720	Huhti	25,562	5,613	1,6	720	Huhti	25,535	5,613	3,5
744	Touko	19,500	5,800	8,7	744	Touko	19,204	5,800	8,4	744	Touko	21,266	5,800	10,5	744	Touko	14,302	5,800	4,8	744	Touko	23,029	5,800	11,5	744	Touko	15,239	5,800	7,7
720	Kesä	7,682	5,613	11,9	720	Kesä	9,908	5,613	11,7	720	Kesä	8,576	5,613	13,4	720	Kesä	7,736	5,613	12,4	720	Kesä	6,758	5,613	12,5	720	Kesä	7,650	5,613	14,5
744	Heinä	4,557	5,800	19,2	744	Heinä	6,013	5,800	14,5	744	Heinä	5,800	5,800	17,4	744	Heinä	6,301	5,800	15,7	744	Heinä	5,800	5,800	20,7	744	Heinä	5,965	5,800	15,2
744	Elo	6,542	5,800	15,6	744	Elo	5,800	5,800	14,8	744	Elo	9,066	5,800	13,7	744	Elo	8,791	5,800	13,8	744	Elo	6,300	5,800	15,6	744	Elo	6,802	5,800	13,9
720	Syys	16,980	5,613	10,1	720	Syys	14,599	5,613	11	720	Syys	19,117	5,613	10,1	720	Syys	12,925	5,613	9,1	720	Syys	13,772	5,613	10,6	720	Syys	15,028	5,613	9
744	Loka	30,713	5,800	1,4	744	Loka	28,034	5,800	3,7	744	Loka	30,270	5,800	3,3	744	Loka	27,587	5,800	2,9	744	Loka	27,969	5,800	3,7	744	Loka	30,700	5,800	1,9
720	Marras	42,304	5,613	-1,2	720	Marras	39,081	5,613	2,2	720	Marras	43,654	5,613	-3,1	720	Marras	39,344	5,613	-0,6	720	Marras	41,499	5,613	1,7	720	Marras	41,375	5,613	-3,1
744	Joulu	50,051	5,800	-3,5	744	Joulu	53,431	5,800	-2,4	744	Joulu	53,421	5,800	-4,2	744	Joulu	49,273	5,800	-3,3	744	Joulu	51,763	5,800	-4,5	744	Joulu	50,727	5,800	-1,9
8760		359,369	68,290	4,38	8760		353,985	68,290	4,77	8760		379,087	68,290	3,75	8760		344,346	68,290	3,28	8760		345,599	68,290	3,84	8760		343,519	68,290	3,16
	Lämmitysverkko	291,0786518				Lämmitysverkko	285,6947				Lämmitysverkko	310,7965				Lämmitysverkko	276,0561				Lämmitysverkko	277,3091				Lämmitysverkko	275,2284		
	Veden lämmitys	19,00 %				Veden lämmitys	19,29 %				Veden lämmitys	18,01 %				Veden lämmitys	19,83 %				Veden lämmitys	19,76 %				Veden lämmitys	19,88 %		

Tod.
KA
-9,30
-5,58
-2,82
2,23
8,60
12,73
17,12
14,57
9,98
2,82
-0,68
-3,30
3,86

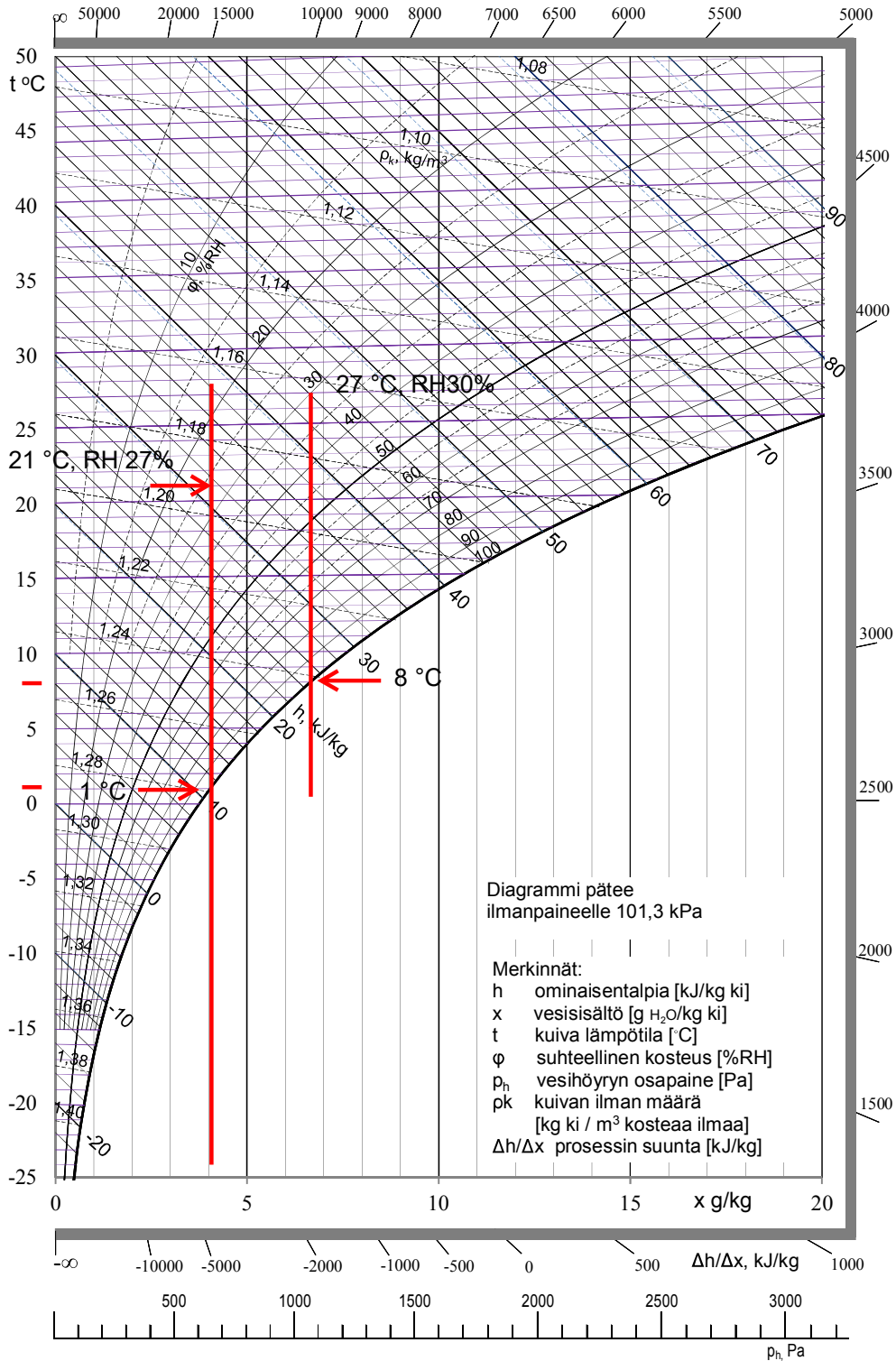
Lämpöindeksi		
Rakennuksen tilavuus	8930	[m ³]
korjauskerroin k ₂	0,92	
Lämpöindeksi	36,5	[kWh/m ³]
Lämpöindeksi normeerattu Jyväskylään		

Rakennuksen normeerattu energiankulutus valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään saadaan vuosi- tai kuukausitasolla seuraavasti:

$$Q_{norm} = k_2 \times \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmön\ käyttövesi}$$

Tarkasteltavien vuosien keskiarvot Ulkolämpötilat vertailuarvot alue III				
h	kk	kok.kul.	-käyttöv	kk UT
744	Tammi	55,890	5,800	-8,00
672	Helmi	49,903	5,239	-7,10
744	Maalis	43,456	5,800	-3,54
720	Huhti	28,035	5,613	2,42
744	Touko	18,757	5,800	8,84
720	Kesä	8,052	5,613	13,39
744	Heinä	5,739	5,800	15,76
744	Elo	7,217	5,800	13,76
720	Syys	15,404	5,613	9,18
744	Loka	29,212	5,800	4,07
720	Marras	41,210	5,613	-1,76
744	Joulu	51,444	5,800	-5,92
8760		354,317578	68,29032	3,43
	Lämmitysverkko	286,0273		
	Veden lämmitys	19,27 %		

Kostean ilman Mollier-piirros 101,3 kPa



Ulkolämpötila	-9,3	°C
Höyrystimelle	3,8	°C
Höyrystimeltä	-0,2	°C
DHAC:ita	3,8	°C
LTO:ita	3,8	°C
qv/keruu	1,61	l/s
Syöttöteho (Fiksu)	9,20	kW
Kierrosluku (Fiksu)	4500	rpm
Pumpulta meno (Fiksu)	45,00	°C
Poistoilman tila	Normaali	
Poistoilmamäärä	0,85	m ³ /s
Poistoilman lämpötila	19,00	°C
Ulospuhalluslämpötila	2,50	°C

Lämmönsiirtoaineena käytetään	Liuksen vahvuus til-%	Tiheys	Cp	LTO:lla keruupiiri T		
		[kg/m ³]	[kJ/kgK]	Tulo °C	Meno °C	ΔT [K]
Propyleeniglykoli	30	1038	3,82	0,8	3,6	2,8

Vakioarvot syötetty. Hakee tietoja Tulokset€ -taulukosta. Voit muuttaa tähän arvoja ja LTO -tapausten syöttöteho pitääkin muuttaa eli hakea tehotaulukosta, mikäli ilmavirtaa muutetaan alkuperäisestä

Keltaiset solut sisältävät syötettäviä arvoja

Ohitusventtiili auki [auki/kiinni] ?	kiinni
--------------------------------------	--------

Pumppujen osuus?	0,4 kW
------------------	--------

Poistoilmasta saatu teho	17,71 kW
qv LTO:lla	1,59 l/s
Hyötysuhde LTO	90,66 %
Laskettu qv LTO	1,59 l/s

Keruupumppu	0,25 kw
-------------	---------

LTO hyötysuhde	87 % kun keruu qv isompi
----------------	--------------------------

Kun poistoilmasta halutaan maksimiteho		
T ulospuhallus	1,7	°C
T poistoilma	19,00	°C
Poistoilmasta max teho	18,57	kW
qv vaatimus keruupiirille	1,67	l/s
LTO keruupiirin tulo T	-0,9	°C
LTO keruupiirittä meno T	1,9	°C

Luettu	Tarve kaikilla muodoilla			LTO ja DHAC KÄYTTÖ					"LTO1" / Pienempi liuos qv			"LTO 2" / Max liuos qv				
	Lämmitystarve P [kW]	Keruu P [kW]	Yhteensä	Syöttöteho	Lauhdutin P [kW]	HÄVIÖT	Keruu P [kW] LTO	Syöttöteho	Lauhdutin P [kW]	HÄVIÖT	Keruu P [kW] LTO	Syöttöteho	Lauhdutin P [kW]	HÄVIÖT		
Lämmitys	Käyttövesi	Yhteensä	LTO	DHAC	DHAC	Jos DHAC käytössä	LTO +DHAC	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO	Pelkästään LTO		
Optimi	64,38	4,2	68,58	17,7	7,9	9,2	34,65	0,00	18,0	6,2	24,4	0,0	18,8	6,56	25,6	0,0
			HalutHöyr.	25,6		kompressor rpm: 4500,00				kompressor rpm: 3000				kompressor rpm: 3000		
						COP 3,77				COP 3,70				COP 3,68		

Energian hinta				CO ₂ -päästöt (2019 arvot, Oulun energia)		CO ₂ -päästöt Motiva	
Kaukolämpö perusmaksu	3352,69 €/vuosi	sis. Alv 24%		Huom! Näyttää 0 jos kk ei laskennassa Tulokset€ -taulukossa			
Kaukolämpö DHAC	10,00 €/MWh	sis. Alv 24%					
Kaukolämpö	56,42 €/MWh	sis. Alv 24%		190 g/kWh		154 g/kWh	
Sähkö	129,00 €/MWh	sis. Alv 24%		141 g/kWh		141 g/kWh	
Sähkökäyttö COP oltava vähintään: 2,27 yllä olevilla energiahinnoilla, jotta lämpöpumppua kannattaa käyttää.							
Myös keruupiirin ja lämpöpumpun pumput huomioidava COP lukuun.							

TEHOSTUSTILANTEEN MUKAAN LASKETUT ARVOT						
Esimerkkitalanteen vaatimuksen mukainen energian tuotto ja kulutus, hinta ja hiilidioksidipäästöt erilaisilla vaihtoehtoilla yhden tunnin aikana						
Lämmöntuottotapa:		Kaukolämmitys	LTO1	LTO2	LTO + DHAC	
Lämpöpumpun tuottama	kWh		24,407	25,625	34,650	
Kaukolämmön kulutus	kWh	68,58	44,17	42,95	41,82	ohitus auki
Kaukolämmön kulutus	kWh				33,93	ohitus kiinni
Sähkön kulutus	kWh		6,6	7,0	9,2	
Hinta yhteensä	€	4,25	3,73	3,70	3,93	ohitus auki
Hinta yhteensä	€				3,48	ohitus kiinni
CO ₂ -päästöt yhteensä	kg	13	9	9	9	(Oulun Energia)
CO ₂ -päästöt yhteensä	kg				8	(Oulun Energia)
Hinta euroa per kWh	€/kWh	0,062	0,054	0,054	0,057	ohitus auki
Ilman perusmaksua	€/kWh	0,056	0,049	0,048	0,052	ohitus auki
Hinta euroa per kWh	€/kWh				0,051	ohitus kiinni
Ilman perusmaksua	€/kWh				0,045	ohitus kiinni
Ilman perusmaksua	€/kWh				0,046	DHAC hinta:
CO ₂ -päästöt/kWh	kg/kWh	0,190	0,136	0,133	0,135	(Oulun Energia)
CO ₂ -päästöt/kWh	kg/kWh				0,113	(Oulun Energia)
CO ₂ -päästöt/kWh	kg/kWh	0,154	0,113	0,111	0,113	(Motiva)
CO ₂ -päästöt/kWh	kg/kWh				0,095	(Motiva)
Koko järjestelmän COP		1,00	1,35	1,37	1,59	

Seuraavassa taulukossa voi kokeilla tämän sivun mukaisilla arvoilla. Nämä tulokset eivät vaikuta Tulokset€ ja CO₂ -taulukoihin. Hakee ylläolevat arvot niihin.

Energianhinnat ja päästöt edellä lasketuilla kWh mukaisilla arvoilla, kun syötetään haluttu arvo megawattitunteina ja ohitusventtiili auki tai energiahinta sama kuin normaali						Asiakkaan näkökulma, jos hinnat vakiot
Hinta [€], jos kulutus: 1 MWh	56,42	48,76	48,43	51,71		
erotus [€]	0,00	7,66	7,99	4,71		
Hinta verrattuna kalleimpaan	100,00 %	86,41 %	85,84 %	91,66 %		
Energianhinnat ja päästöt edellä lasketuilla kWh mukaisilla arvoilla, kun syötetään haluttu arvo megawattitunteina. Ohitusventtiili kiinni ja paluuhinta 0€						Energiantuottajan näkökulma (laita tuotantohinnat)
Hinta [€], jos kulutus: 1 MWh	56,42	48,76	48,43	45,22		
erotus [€]	0,00	7,66	7,99	11,20		
Hinta verrattuna kalleimpaan	100,00 %	86,41 %	85,84 %	80,15 %		
Energianhinnat ja päästöt edellä lasketuilla kWh mukaisilla arvoilla, kun syötetään haluttu arvo megawattitunteina. Ohitus kiinni ja paluuhinta €: 10						Asiakkaan näkökulma, jos paluun hinta eri
Hinta [€], jos kulutus: 1 MWh	56,42	48,76	48,43	46,37		
erotus [€]	0,00	7,66	7,99	10,05		
Hinta verrattuna kalleimpaan	100,00 %	86,41 %	85,84 %	82,19 %		
Päästöt Oulun Energian mukaisilla arvoilla						Oulun Energian mukaiset CO ₂ -arvot
Päästöt[kg], jos kulutus yläpuolelle syötetty	190	136	133	113		
pienempi kuin suurin [kg]	0	54	57	77		
Päästöt verrattuna suurimpaan	100,00 %	71,55 %	70,16 %	59,43 %		
Päästöt Motivan mukaisilla arvoilla (kaukolämpö yhteistuotannon mukaan, jyvitetty energiamuodittain)						Motivan mukaiset CO ₂ -arvot
Päästöt[kg], jos kulutus yläpuolelle syötetty	154	113	111	95		
pienempi kuin suurin [kg]	36	77	79	95		
Päästöt verrattuna suurimpaan	100,00 %	73,22 %	71,93 %	61,76 %		

PÄÄSTÖVERTAILU ENERGIANTUOTTAJAN ARVOILLA		V1 KAUKOLÄMPÖ	V2 PELKKÄ LTO, SAMA TEHON OTTO POISTOSTA KUIN V4	V3 PELKKÄ LTO MAKSIMITEHO	V4 DHAC JA LTO - KÄYTTÖ	V5 OPTIMOITU DHAC KÄYTTÖ
Hybridijärjestelmän vaikutus energiantuotannon arvoilla laskettuihin päästöihin. Käyttöveden osuutta ei huomioida muuten kuin LKV.						
Kuukausitason laskennalla tehty päästövertailu.						
Tammi	Kokonaispäästöt [kg]	10110,81	7120,14	6940,61	5820,16	5820,16
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	29,58 %	31,35 %	42,44 %	42,44 %
Helmi	Kokonaispäästöt [kg]	9022,47	6293,23	6145,93	5230,02	5230,02
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	30,25 %	31,88 %	42,03 %	42,03 %
Maalis	Kokonaispäästöt [kg]	7748,35	4496,10	4325,31	3645,27	3645,27
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	41,97 %	44,18 %	52,95 %	52,95 %
Huhti	Kokonaispäästöt [kg]	4834,76	1444,41	1263,67	1448,42	1263,67
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	70,12 %	73,86 %	70,04 %	0,70 %
Touko	Kokonaispäästöt [kg]	2956,59	593,38	593,38	1731,47	593,38
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	79,93 %	79,93 %	41,44 %	79,93 %
Kesä	Kokonaispäästöt [kg]	942,23	314,02	212,68	570,34	212,68
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	66,67 %	77,43 %	39,47 %	77,43 %
Heinä	Kokonaispäästöt [kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pienempi kuin suurin [%]					
Elo	Kokonaispäästöt [kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pienempi kuin suurin [%]					
Syys	Kokonaispäästöt [kg]	2339,11	499,43	499,43	1283,86	499,43
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	78,65 %	78,65 %	45,11 %	78,65 %
Loka	Kokonaispäästöt [kg]	5041,99	1723,30	1518,79	1726,70	1518,79
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	65,82 %	69,88 %	65,75 %	69,88 %
Marras	Kokonaispäästöt [kg]	7338,01	4107,92	3861,33	2990,01	3861,33
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	44,02 %	47,38 %	59,25 %	47,38 %
Joulu	Kokonaispäästöt [kg]	9266,07	6163,30	5908,96	5026,95	5026,95
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	33,49 %	36,23 %	45,75 %	45,75 %
Koko vuosi	Kokonaispäästöt [kg]/vuosi	59600,39	32755,22	31270,09	29473,19	27671,66
	Päästöjen vähennys [kg]/vuosi	0,00	26845,17	28330,30	30127,20	31928,73
	Päästöjen vähennys %/vuosi	0,00 %	45,04 %	47,53 %	50,55 %	53,57 %

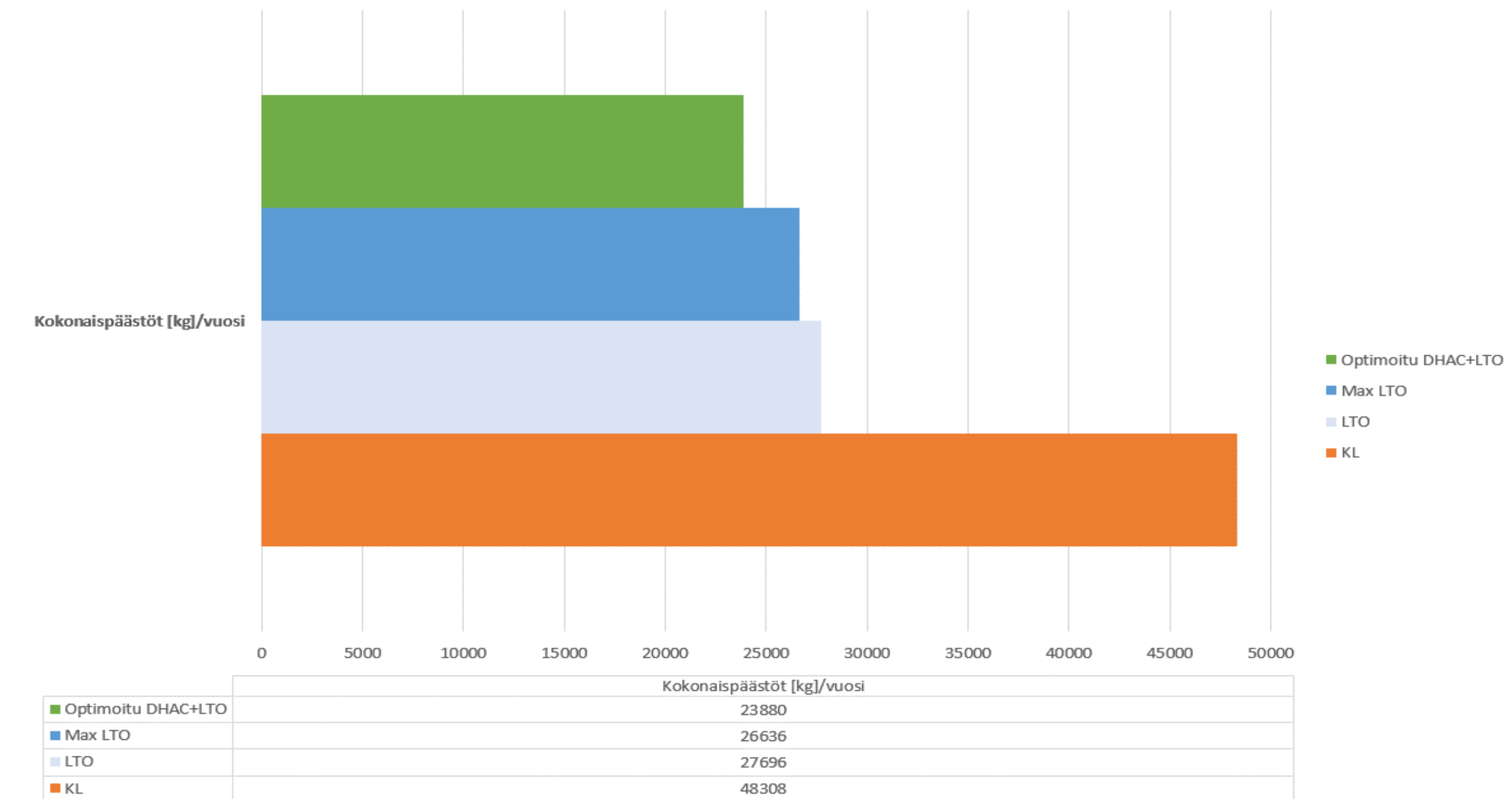
Huomioitava, että käyttöveden osuuden päästöt eivät ole näissä laskelmissa muutoin, kun lämpimän veden kierron osalta. Suurin osa siitä kuluttaa lämmityskaudella suoraan kaukolämmön energiaa. Lämmityskauden ulkopuolella lämpöpumpun tuottamaa energiaa on mahdollista käyttää enemmän käyttöveden tuottamiseen.

PÄÄSTÖVERTAILU MOTIVAN ARVOILLA		V1 KAUKOLÄMPÖ	V2 PELKKÄ LTO, SAMA TEHON OTTO POISTOSTA KUIN V4	V3 PELKKÄ LTO MAKSIMITEHO	V4 DHAC JA LTO - KÄYTTÖ	V5 OPTIMOITU DHAC KÄYTTÖ
Hybridijärjestelmän vaikutus energiantuotannon arvoilla laskettuihin päästöihin. Käyttöveden osuutta ei laskennassa huomioida muuten kuin LKV.						
Kuukausitason laskennalla tehty päästövertailu.						
Tammi	Kokonaispäästöt [kg]	8195,08	5911,71	5777,99	4917,92	4917,92
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	27,86 %	29,49 %	39,99 %	39,99 %
Helmi	Kokonaispäästöt [kg]	7312,95	5226,47	5113,70	4410,60	4410,60
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	28,53 %	30,07 %	39,69 %	39,69 %
Maalis	Kokonaispäästöt [kg]	6280,24	3790,98	3659,84	3138,62	3138,62
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	39,64 %	41,72 %	50,02 %	50,02 %
Huhti	Kokonaispäästöt [kg]	3918,70	1316,43	1176,16	1335,25	1176,16
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	66,41 %	69,99 %	65,93 %	69,99 %
Touko	Kokonaispäästöt [kg]	2396,39	593,38	593,38	1515,83	593,38
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	75,24 %	75,24 %	36,75 %	75,24 %
Kesä	Kokonaispäästöt [kg]	763,70	212,68	212,68	502,57	212,68
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	72,15 %	72,15 %	34,19 %	72,15 %
Heinä	Kokonaispäästöt [kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pienempi kuin suurin [%]					
Elo	Kokonaispäästöt [kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pienempi kuin suurin [%]					
Syys	Kokonaispäästöt [kg]	1895,91	485,89	485,89	1121,70	485,89
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	74,37 %	74,37 %	40,84 %	74,37 %
Loka	Kokonaispäästöt [kg]	4086,67	1542,81	1385,56	1564,93	1385,56
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	62,25 %	66,10 %	61,71 %	66,10 %
Marras	Kokonaispäästöt [kg]	5947,65	3475,20	3285,45	2555,19	3285,45
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	41,57 %	44,76 %	57,04 %	44,76 %
Joulu	Kokonaispäästöt [kg]	7510,40	5140,36	4944,86	4273,48	4273,48
	Pienempi kuin suurin [%]	0,00 %	31,56 %	34,16 %	43,10 %	43,10 %
Koko vuosi	Kokonaispäästöt [kg]/vuosi	48307,69	27695,92	26635,50	25336,09	23879,74
	Päästöjen vähennys [kg]/vuosi	0,00	20611,77	21672,18	22971,60	24427,95
	Päästöjen vähennys %/vuosi	0,00 %	42,67 %	44,86 %	47,55 %	50,57 %

Keltaisiin soluihin tulee syöttää arvot. Muista täyttää Tehostuspoisto ja Normaali-poisto -taulukot laskettavan kuukauden mukaan. Tammikuu = 1, helmikuu =2 jne.

CO ₂ -päästöt (2019 arvot, Energiantuottaja)		CO ₂ -päästöt Motiva	
Kaukolämpö	190 g/kWh	Kaukolämpö	154 g/kWh
Sähkö	141 g/kWh	Sähkö	141 g/kWh

Kokonaispäästöt [kg]/vuosi (Laskettu Motivan tuotantomuodoille antamalla arvoilla 2021)



Keltaisiin soluihin tulee syöttää arvot. Muista täyttää Tehostuspoisto ja Normaali-poisto -taulukot laskettavan kuukauden mukaan. Tammikuu = 1, helmikuu = 2 jne.

TULOKSET EUROINA		V1 KAUKOLÄMPÖ	V2 PELKKÄ LTO, SAMA TEHON OTTO POISTOSTA KUIN V4	V3 PELKKÄ LTO MAKSIMITIHO	V4 DHAC JA LTO - KÄYTTÖ	V5 OPTIMOITU DHAC KÄYTTÖ
LASKENTA HUOMIOI POISTOLMAN VUOROKAUTISET TEHOSTUS- JA NORMAALIPOISTON TILANTEET						
Hybridijärjestelmän säästöpotentiaali. Käyttöveden osuutta ei huomioida muuten kuin LKV. Syötä poiston tilat/vrk						
Kuukausitason laskennalla tehty hintavertailu.						
Tammikuu	Kokonaishinta €	3002,38	2573,02	2558,16	2446,81	2446,81
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	429,36	444,22	555,57	555,57
Helmi	Kokonaishinta €	2679,20	2278,52	2256,36	2165,68	2165,68
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	400,68	422,84	513,52	513,52
Maalis	Kokonaishinta €	2300,85	1813,79	1786,84	1875,09	1875,09
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	487,06	514,01	425,76	425,76
Huhti	Kokonaishinta €	1435,67	904,08	870,72	956,05	956,05
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	531,59	564,95	479,61	564,95
Touko	Kokonaishinta €	877,95	542,88	542,88	803,06	542,88
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	335,07	335,07	74,90	335,07
Kesä	Kokonaishinta €	279,79	194,58	194,58	255,92	194,58
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	85,21	85,21	23,87	85,21
Heinä	Kokonaishinta €	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Elo	Kokonaishinta €	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Syys	Kokonaishinta €	694,59	412,79	412,79	635,34	412,79
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	281,80	281,80	59,25	281,80
Loka	Kokonaishinta €	1497,21	988,02	955,03	1369,48	955,03
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	509,19	542,18	127,72	542,18
Marras	Kokonaishinta €	2179,00	1694,76	1654,52	1993,12	1694,76
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	484,24	524,48	185,88	524,48
Joulu	Kokonaishinta €	2751,54	2302,57	2261,78	2242,38	2242,38
	Säästö verrattuna kalleimpaan €	0,00	448,96	489,76	509,15	509,15
Laskennassa mukana olevat kuukaudet yhteensä	Energian hinta yht. €/laskennassa mukana olevat	17698,18	13705,01	13493,65	14742,94	13360,47
	Kaukolämmön perusmaksu	3555,10	3109,81	3109,81	2684,76	2684,76
	Kokonaishinta €/laskennassa mukana olevat kk	21253,28	16814,82	16603,46	17427,70	16045,24
	Säästö verrattuna kalleimpaan €/vuosi	0,00	4438,46	4649,82	3825,57	5208,04
	Säästö prosentteina kalleimpaan €/vuosi	0,00 %	20,88 %	21,88 %	18,00 %	24,50 %

Huomioitava, että käyttöveden energiakustannukset eivät ole tässä laskelmassa muutoin, kun lämpimänveden kierron osalta. Suurin osa siitä kuluttaa lämmityskaudella suoraan kaukolämmön energiaa. Lämmityskauden ulkopuolella lämpöpumpun tuottamaa energiaa on mahdollista käyttää enemmän käyttöveden tuottamiseen.

Laskennassa mukana olevat kk + Käyttöviesi koko vuosi	Energian hinta €/vuosi	19914,17	15921,00	15709,64	16958,93	15576,47
	Kaukolämmön perusmaksu	3555,10	3109,81	3109,81	2684,76	2684,76
	Kokonaishinta €/vuosi	23469,27	19030,81	18819,45	19643,69	18261,23
	Säästö verrattuna kalleimpaan €/vuosi	0,00	4438,46	4649,82	3825,57	5208,04

Lämmitysenergian kulutus energiamuodotain [MWh] koko vuosi						
Tammikuu	Kaukolämmön kulutus	55,89	36,16	34,84	27,58	27,58
	Sähkön kulutus	0,00	5,28	5,74	7,55	7,55
Helmi	Kaukolämmön kulutus	49,90	31,93	30,96	25,02	25,02
	Sähkön kulutus	0,00	4,74	4,99	6,47	6,47
Maalis	Kaukolämmön kulutus	43,46	22,06	20,93	16,62	16,62
	Sähkön kulutus	0,00	5,54	5,82	6,92	6,92
Huhti	Kaukolämmön kulutus	28,04	5,93	4,88	5,55	4,88
	Sähkön kulutus	0,00	5,51	5,72	6,05	5,72
Touko	Kaukolämmön kulutus	18,76	3,20	3,20	9,19	3,20
	Sähkön kulutus	0,00	4,20	4,20	4,20	4,20
Kesä	Kaukolämmön kulutus	8,05	3,09	5,80	4,97	5,80
	Sähkön kulutus	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50
Heinä	Kaukolämmön kulutus	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
	Sähkön kulutus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Elo	Kaukolämmön kulutus	7,22	7,22	7,22	7,22	7,22
	Sähkön kulutus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Syys	Kaukolämmön kulutus	15,40	3,47	3,47	7,60	3,47
	Sähkön kulutus	0,00	3,02	3,02	3,02	3,02
Loka	Kaukolämmön kulutus	29,21	7,51	6,13	6,99	6,13
	Sähkön kulutus	0,00	5,51	5,84	6,23	5,84
Marras	Kaukolämmön kulutus	41,21	19,93	18,35	32,97	18,35
	Sähkön kulutus	0,00	5,51	5,89	6,59	5,89
Joulu	Kaukolämmön kulutus	51,44	30,93	29,30	27,58	27,58
	Sähkön kulutus	0,00	5,46	5,86	7,48	7,48
Koko vuosi/kaikki lämmitysenergia	Kaukolämmön kulutus yhteensä	354,32	177,17	170,82	177,04	151,59
	Sähkön kulutus yhteensä	0,00	46,27	48,60	56,01	54,60
	Hybrid SPF	1,0	1,6	1,6	1,5	1,7

SPF (Seasonal Performance Factor)

SPF arvoa voidaan kutsua myös täydelliseksi vuosihyötysuhteeksi. Kuten SCOP arvo, myös SPF arvo laskee hyötysuhteen koko vuodelle. Lisäksi SPF arvo ottaa huomioon myös lämpimänvedentuotannon. Tämän ansiosta SPF on oikeudenmukaisin tapa lämpöpumpujen tehon vertailuun.

(Lähde:Thermia)

Jos haluat tarkastella yksittäistä kuukautta, syötä arvoja johonkin -poistotaulukkoon						
Keltaiset ruudut on pakollisia syöttöruutuja. (ainoastaan kk tyhjä, ellei haluta laskentaan) Jos kuukauden keskilämpötila on alle -6 astetta, huomioi tehostustaulukkoa täyttäessäsi ilmapölyssä. Arvioi tehostuskäytön aikainen keskimääräinen ilmavirta m3/s syötettävälle kuukaudelle. (Esim 1,0 m/3)						
Kuukausi	merkkä [1] Jos kk tulee laskentaan	Keskilämpötila °C	Tunnit/kk h	Energiantarve/Lämmitys + LKV MWh	ohitusventtiili [auki/kiinni]	
Tammikuu	1	-9,3	744	53,21	kiinni	
Helmikuu	1	-5,58	672	47,49	kiinni	
Maalis	1	-2,82	744	40,78	kiinni	
Huhtikuu	1	2,23	720	25,45	auki	
Toukokuu	1	8,6	744	15,56	auki	
Kesä	1	12,73	720	4,96	auki	
Heinä	1	17,12	744	0,00	kiinni	
Elo	1	14,57	744	0,00	kiinni	
Syys	1	9,98	720	12,31	auki	
Lokakuu	1	2,82	744	26,54	auki	
Marraskuu	1	-0,68	720	38,62	auki	
Joulukuu	1	-3,3	744	48,77	kiinni	
Yhteensä	10		8760,0	313,7		
Tehostuspoisto	6		Normaali-poisto 18			(h/vrk)

Teho ajatellaan tuotettuna yksikkönä HybridSPF laskettaessa, eli sähköä ja kaukolämpöä ei eritellä siinä kohtaa. Lämpöpumpun sähkönkäyttö COP löytyy laskentataulukoista.

Energian hinta			
Kaukolämpö perusmaksu	3555,10	€/vuosi	sis. Alv 24%
Kaukolämpö DHAC ???	10,00	€/MWh	sis. Alv 24%
Kaukolämpö	56,42	€/MWh	sis. Alv 24%
Sähkö	129,00	€/MWh	sis. Alv 24%

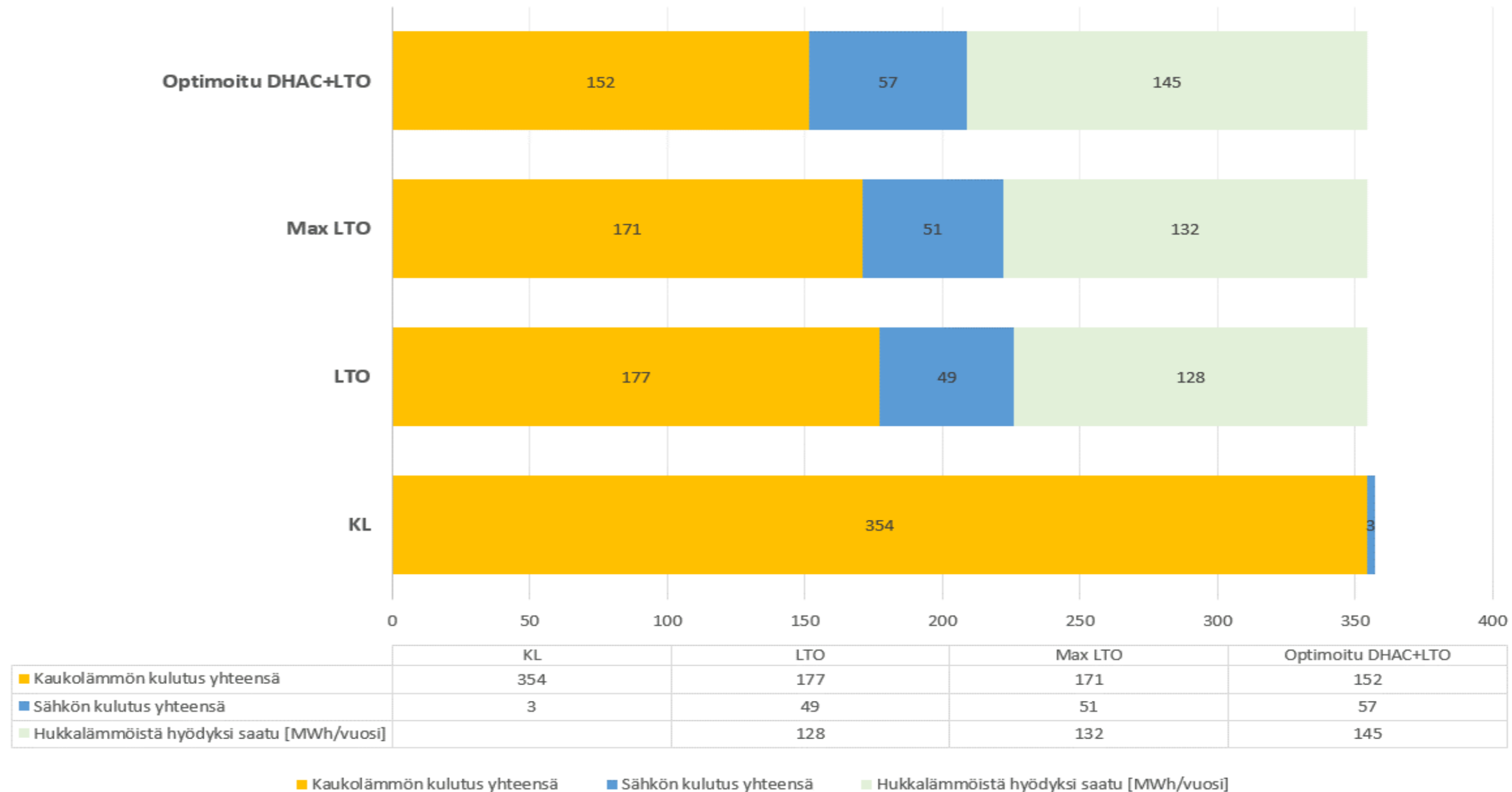
Sähkökäyttö COP oltava vähintään: 2,29 yllä olevilla energiahinnoilla, jotta lämpöpumpun kannattaa käyttää.

Vaskitie, Normeerattu keskiarvo 2014-2019

Lämmitysarveluvulla korjattu käyttö [MWh]					Laskurissa [MWh]		Laskurissa teho [kW]			Laskennan ulkopuolelle jäävä käyttövesi [MWh]	Tehostuspoiston lisävaatimus MW
Vuositilasto 2014-2019 normeerattujen kulutusten keskiarvo. UT, vertailuarvot alue III					Lämmitysverkko	LKV/tulistus us	Lämmitysverkko T	Lämmitysverkko N	LKV/tulistus		
h	kk	kok.kul.	-käyttöv.	kk UT							
744	Tammikuu	55,890	5,800	-9,30	50,090	3,125	76,2	64,4	4,2	2,675	2,2
672	Helmi	49,903	5,239	-5,58	44,664	2,822	74,7	63,7	4,2	2,416	1,8
744	Maalis	43,456	5,800	-2,82	37,656	3,125	60,2	47,4	4,2	2,675	2,4
720	Huhti	28,035	5,613	2,23	22,422	3,024	38,9	28,5	4,2	2,589	1,9
744	Touko	18,757	5,800	8,60	12,957	2,604	21,7	16,0	3,5	3,196	1,1
720	Kesä	8,052	5,613	12,73	2,439	2,520	5,5	2,7	3,5	3,093	0,5
744	Heinä	5,739	5,800	17,12	0,000	2,604	0,0	0,0	3,5	5,800	0,0
744	Elo	7,217	5,800	14,57	1,417	2,604	3,1	1,5	3,5	5,800	0,3
720	Syys	15,404	5,613	9,98	9,791	2,520	17,1	12,4	3,5	3,093	0,8
744	Loka	29,212	5,800	2,82	23,412	3,125	38,9	29,0	4,2	2,675	1,9
720	Marras	41,210	5,613	-0,68	35,597	3,024	58,6	46,4	4,2	2,589	2,2
744	Joulu	51,444	5,800	-3,30	45,644	3,125	69,7	58,6	4,2	2,675	2,1
8760		354,319	68,29	3,86							
	Lämmitysverkko		286,03								
	Veden lämmitys		19,27 %								
	Yhteensä										
	Hinta €/kaukolämm.										
											2215,99

Kaukolämmön kokonaishinta muodostuu perusmaksusta (€/v), energiamaksusta (€/MWh) ja veroista (alv 24 %). Perusmaksu määräytyy sopimusvesivirran (V) mukaan ja se lasketaan seuraavien laskentakaavojen avulla. Sopimusvesivirta lasketaan kiinteistön suurimman lämmöntarpeen mukaan. Käytämme mitoituslämpötilana -32°C:tta.

LÄMMITYKSEN JA KÄYTTÖVEDEN OSTOENERGIAN KULUTUS JA HUKKALÄMMÖISTÄ HYÖDYKSI SAATU ENERGIA [MWh/VUOSI]



(K1, Energiategollisuus ry)

