

Opinnäytetyö AMK

Tekniikan koulutus

LVI-tekniikka

2021

Miska Lehtinen

KAUKOLÄMPÖLAUHDUT- TEINEN LÄMPÖPUMPPU KIINTEISTÖN JÄÄHDYTYKSESSÄ

– Liedon kunnantalo

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan koulutus | LVI-tekniikka

2021 | 50 sivua, 7 liitesivua

Ohjaajat

Juha Leimu & Erkki Tuomaala, Turun AMK

Miska Lehtinen

KAUKOLÄMPÖLAUHDUTTEINEN LÄMPÖPUMPPU KIINTEISTÖN JÄÄHDYTYKSESSÄ

- Liedon kunnantalo

Tässä opinnäytetyössä selvitetään Liedon kunnan toimeksiannosta Liedon kunnantalolle asennetun kaukolämpölahdutteisen vedenjäähdyttimen mitoitusta, toimintaa sekä taloudellista kannattavuutta. Kuntien tavoitteet päästöjen vähentämisestä sekä hiilineutraliudesta ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ovat lisänneet energiavirtojen optimoinnin tarvetta fossiilisen primäärienergian käytön vähentämiseksi.

Kiinteistöjen jäähdytyksen sivutuotteena syntyvää lauhde-energiaa pidetään monesti hukkalämpönä. Lauhteen varteenotettava potentiaali jätetään helposti hyödyntämättä kasvaneiden investointikulujen vuoksi. Riippuen kaukolämpöyhtiön energian ostohinnoittelusta, kaukolämpölahdutteinen vedenjäähdytin muuttaa kasvaneen laiteinvestoinnin kannattavaksi hukkalämmön hyödyntämisen johdosta.

ASIASANAT:

kaukolämpö, lämpöpumppu, lämmön talteenotto, vedenjäähdytin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Education and training in technology | HVAC

2021 | 51 pages, 7 pages in appendices

Miska Lehtinen

DISTRICT HEATPUMP IN BUILDING COOLING

- Lieto city hall

In this thesis, focus is on the dimensioning, operation and economic profitability of a district heating heat pump used as a water chiller in the Lieto city hall. The work is commissioned by the municipality of Lieto. Municipal of Lieto targets for reducing emissions and carbon neutrality to prevent climate change. Increased need to optimize energy flows to reduce the use of primary fossil energy leads to using more energy efficient heating and cooling systems.

Condensate energy generated as a by-product of property cooling is often considered as waste heat. The considerable potential of condensate is often missed due to increased investment costs. A district heat heat pump used as a water chiller makes equipment investment profitable due to the utilization of waste heat from the point of view of both, the district heating company and the user of the heat pump.

KEYWORDS:

district heating, heat pump, heat recovery, water chiller,

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 KAUKOLÄMPÖVERKOSTO	9
2.1 Kaukolämpö	9
2.2 Kaukolämpövoimalat	9
2.2.1 Höyryvoimalaitokset	9
2.2.2 Kaasuturbiinilaitokset	11
2.2.3 Kaukolämpöpumppulaitos	11
2.3 Kaukolämpöverkosto	13
2.4 Liedon lämmön kaukolämpöverkosto	14
3 KIINTEISTÖKAUKOLÄMPÖPUMPPULAITOS	16
3.1 Laitteisto	16
3.1.1 Kylmäainevalinta	16
3.1.2 Kompressorivalinta	19
3.1.3 Automaatio	22
3.1.4 Kylmäpiirin komponenttien valinta	23
3.1.5 Ensiovesipiiri ja komponentit	23
3.1.6 Toisiovesipiiri ja komponentit	24
3.1.7 Konehuonevaatimukset	24
4 LIEDON KUNNANTALO	26
4.1 Kohteen yleistiedot	26
4.2 Vanha jäähdytysjärjestelmä	26
4.3 Hankesuunnittelu	27
4.3.1 Järjestelmän mitoitusarvot	28
4.4 Järjestelmän kilpailutus ja toteutus	38
4.5 Urakoitsija ja valittu järjestelmä	39
4.6 Järjestelmänäkymä taloautomaatiosta	39
4.7 Järjestelmän mittaukset	40
4.8 Liedon lämmön verkoston optimointi	40
5 ENERGIANTUOTANTO	43

5.1 Energian tuotto-odotus	43
5.1.1 Saavutettu kuukausituotto	43
5.2 Hankkeen kannattavuuslaskenta	44
5.3 Liedon lämmön energianmyynti	45
6 POHDINTA	49
LÄHTEET	50

LIITTEET

- Liite 1. A-101 kytkentäkaavio.
- Liite 2. Työseloste Liedon kunnantalo. JK301 saneeraustyö.
- Liite 3. Kunnantalon kaukolämpö-lämpöpumppumitoitus.
- Liite 4. Taulukko 5 säästölaskenta.
- Liite 5. Järjestelmä esittelyvideo.

KAAVAT

Kaava 1. Kylmäntuoton kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)	31
Kaava 2. Massavirran kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)	32
Kaava 3. Lauhdetehon kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)	32
Kaava 4. Lauhdevirtaaman kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 211--212.)	33
Kaava 5. Kokonaispainehäviön kaava	36
Kaava 6. Säätoventtiilin mitoituspaine-ero.	37
Kaava 7. Säätoventtiilin kv-arvo (Energiateollisuus ry 2020. 16.)	37
Kaava 8. Venttiilin todellinen painehäviö. (Energiateollisuus ry 2020. 16.)	37

KUVAT

Kuva 1. Havainnekuva suuresta lämpöpumpullisesta kaukolämpöjärjestelmästä (Energiateollisuus ry 2016. 8.)	12
Kuva 2. Kaukolämpölauhdutteinen vedenjäähdytin	16
Kuva 3. Kylmäaineluettelo GWP-arvon ja turvaluokituksen mukaan. (Hakala, P 2019. 12.)	17
Kuva 4. Vuototarkastusvälit. (Hakala, P 2019. 5.)	17
Kuva 5. Erään valmistajan puolihiermeettisen mäntäkompressorin toiminta-alue.	20
Kuva 6. Erään valmistajan ruuvikompressorin toiminta-alue	21
Kuva 7. Erään valmistajan scroll-kompressorin käyttöalue	22
Kuva 8. Vedenjäähdyttimen peruskytkentä tasaussäiliöllä. (Hakala, P & Kaappola, E 2013. 211.)	24

Kuva 9. Konehuonevaatimuksia. (AREA 2017.)	25
Kuva 10. Log(p)-h diagrammin lähtöarvot	30
Kuva 11. Log(p)-h diagrammi R134a lämpöpumpun toimintapisteessä.	31
Kuva 12. Liedon kunnantalon kaukolämpöverkkomitoitus	34
Kuva 13. IMI HyTools putkistomitoitussovellus	35
Kuva 14. Kaukolämpöverkon havainnekuva Karjatien runkoverkostolle saakka.	36
Kuva 15. Valvomonäkymä järjestelmästä kunnantalolla	40
Kuva 16. Osa Liedon lämmön linjakartasta	42
Kuva 17. Energian keskihinnat kesäkuu 2020. (Tilastokeskus 2021.)	44
Kuva 18. Fortumin energian ostohinnat kuukausittain Espoossa, Kauniaisissa ja Kirkkonummella. (Fortum 2021.)	47

TAULUKOT

Taulukko 1. Rakennusten ominaislämpöteho ja lämpöindeksi. (Energiateollisuus ry 2006. 154.)	14
Taulukko 2. Kaukolämmön paluulämpötiladata vuodelta 2019	28
Taulukko 3. Kaukolämmön kesäkuukausien menolämpötiladata vuodelta 2019	29
Taulukko 4. Eri laitteistojen elinkaarikustannusvertailu Liedon kunnantalo	44
Taulukko 5. Elinkaarikustannus ulkopuoliselle energianmyyjälle.	46
Taulukko 6. Elinkaarikustannus Fortumin energian ostohinnoilla. (Fortum 2021.)	48

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

LTO	Lämmön talteenotto
MW	Megawatti, tehon yksikkö
KWh	Kilowattitunti, energiamäärän yksikkö
HCFC-kylmäaine	Osittain halogenoidut hiilivedyt (Hakala & Kaappola 2016. 23)
HFC-kylmäaine	Kokonaan kloorittomat hiilivedyt (Hakala & Kaappola 2016. 23.)
Atseotrooppi	Seoskylmäaine, jolla vastaavat ominaisuudet yksikomponenttisen kylmäaineen kanssa (Hakala & Kaappola 2016. 23)
Tseotrooppi	Seoskylmäaine, jolla on lämpötilaliukuma (Hakala & Kaappola 2016. 23)
Bar	Paineen yksikkö. Yksi bar = 100 000 Pa
PID	Säädintyyppi. Suhde, integroiva ja derivoiva.
GWP-arvo	Global warming potential, kasvihuoneilmiön edistämisaikutus. (Hakala & Kaappola 2016. 23)
VAK	Valvonta-alakeskus.
KU	Kylmäurakka.
AU	Automaatiourakka.
KL	Kaukolämpö tai kaukolämpöurakka.

1 JOHDANTO

Liedon kunnantalon vanhan jäähdytysjärjestelmän saneeraustarpeen yhteydessä käynnistettiin suunnitteluprosessi laitteistolle, joka hyödyntäisi jäähdytyksen yhteydessä syntyvän lauhde-energian järkevästi. Vanha järjestelmä puhalsi ulkolauhduttimella kaiken lauhde-energian hukkaenergiana ulkoilmaan. Nopeasti löydettiin potentiaali hyödyntää lauhde-energia syöttämällä se Liedon lämmön kaukolämpöverkoston tätä varten rakennettavalla lämpöpumpulla, joka myös jäähdyttää kiinteistön.

Kunnat pyrkivät vähentämään päästöjä ja olemaan hiilineutraaleita. Esimerkiksi Hinku verkostoon kuuluvien kuntien tavoitteena on pudottaa 80 % päästöjä vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteeseen päästäkseen energiavirrat tulee optimoida pysymään mahdollisimman energiatehokkaina kunnan hyödyntämissä toimissa. Energiatehokkuutta parantavat toimet ovat hyödyksi sekä kunnalle että ympäristölle. Kaukolämpöyhtiöllä ei ole hinnastoja kaksisuuntaiseen energianmyyntiin kaukolämpöverkoston niin kuin esimerkiksi itse tuotetun aurinkosähkön myynnissä. Vastaavat kohteet ovat pääosin pilottihankkeita lämpöyhtiöiden omassa omistuksessa. Tämä työ toimii esimerkkitapauksena, miten energiatehokkuuteen kannustava Liedon kunta mahdollistaa jatkossa myös ulkopuolisten lauhde-energian myyjien liittymisen verkostoonsa.

Työssä vertaillaan perinteisen toimintamallin keskisuuria kiinteistöjäähdytysjärjestelmiä uudenaikaiseen lämpöpumpumalliseen jäähdytykseen energiatehokkuuden sekä tekniikan näkökulmasta. Suunnittelu- ja mitoitusteknisten lähtökohtien lisäksi tarkastellaan hankkeen kannattavuutta niin jäähdytettävän kiinteistön omistajan kuin lauhde-energian vastaanottavan lämpöyhtiönkin näkökulmasta. Tiedot pohjautuvat osittain kunnantalon laitteiston käytöstä saatuihin mittaustuloksiin.

Työn alussa käsitellään kaukolämpöverkostoa sekä eri voimalatyyppejä mukaan lukien kaukolämpölämpöpumput. Lisäksi perehdytään kaukolämpölämpöpumppujen tekniikkaan, josta yhteenvetona luvussa 4 on esitelty Liedon kunnantalon järjestelmä.

2 KAUKOLÄMPÖVERKOSTO

2.1 Kaukolämpö

Kaukolämmöllä tarkoitetaan lämmön keskitettyä tuotantoa, jonka tavoitteena on lämmitellä rakennuksia sekä käyttövetä. Ominaista kaukolämmölle on energian tuotantoa varten organisoitu liiketoiminta. Lämpö tuotetaan keskitetysti yhdessä tai useammassa tuotantolaitoksessa, josta se siirretään kaukolämpöveden välityksellä kuluttaja-asiakkaille. Asiakkaina ovat asuintalot, teollisuus, julkiset rakennukset ja liikerakennukset. Kaukolämmön markkinaosuus rakennuskannan lämmityksessä on noin 50 %. Kaukolämmitys on aina kilpaillut rakennuskohtaisia lämmitysvaihtoehtoja vastaan. Kilpailukyknä kaukolämmöllä on tehokkaammat laitokset päästöjen vähentämiseksi sekä mahdollisuus käyttää laitoksia sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Suomen olosuhteissa kaukolämmön kilpailukykyä nostaa etenkin paikallisten biopolttoaineiden käyttö kuten hake tai turve. Suuren rakennustiheyden alueet kuten kaupunkien keskusta-alueet, joissa lämpöteho on paikallisesti suuri, ovat kaukolämmölle otollisinta aluetta. (Energiateollisuus ry 2006. 25–26.)

2.2 Kaukolämpövoimalat

Suomessa kaukolämpövoimaloista 67 % perustuu sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. (Energiateollisuus ry 2020. 3.) Voimalat verkkoineen ovat pääsääntöisesti julkisessa omistuksessa. Yksityinen omistus on kuitenkin yleistymässä. Voimalaitosprosessissa pyritään käytössä olevasta polttoaineesta saamaan mahdollisimman suuri osuus muutettua lämpö- ja sähköenergiaksi. (Energiateollisuus ry 2006. 293.)

Alla on esitelty erilaisten voimaloiden toimintaperiaatteita ja käyttökohteita tehontarpeen mukaan.

2.2.1 Höyryvoimalaitokset

Höyryvoimalaitokset jaetaan kahteen alalajiin: lauhdutus- ja vastapainevoimalaitoksiin. Vastapainevoimalaitoksessa kaukolämpövesi lämpenee turbiinin ulostulohöyryllä, kun

taas lauhdutusvoimalaitoksissa kaukolämpövettä lämmitetään väliottohöyryllä ja matalammassa paineessa turbiinin loppupäässä olevaa höyryä käytetään sähköntuotantoon.

Vastapainevoimalaitos

Laitokset ovat yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon perustuvia voimalaitoksia, jotka tuottavat sähköä, lämpöä sekä höyryä. Näiden laitosten ensisijainen tuote on lämpö, joten laitoksen mitoitusperusteena on kuluttaja-asiakkaiden lämmöntarve. Sivutuotteena tuotetaan sähköä, jota saadaan tiettyssä suhteessa riippuen lämmöntuotannosta. Sama höyryvirta, joka kulkee sähköturbiinin läpi, menee myös kaukolämpövaihtimeen, joten molemmat tuotannot riippuvat samasta energiavirrasta. Sähköntuotantoturbiinin läpi ajettu höyry lauhdutetaan kaukolämpösiirtimessä, josta energia siirretään kaukolämpöverkostoon. Laitoksen lauhtumispaine määräytyy kaukolämpöveden lämpötilatason mukaan. Sähköntuotannon kannalta edullisinta on, kun kaukolämpöverkoston lämpötila on matala ja täten höyryn lauhtumispaine on mahdollisimman alhainen.

Tavanomaisessa laitoksessa kaukolämpö tuotetaan kahdella lämmönvaihtimella, joista toinen kytketään vastapaineeseen ja toinen väliottoon. Väliottohöyryllä tuotetaan kaukolämpöpiiriin tarvittava menolämpötilataso, ja osa höyrystä paisuu vastapaineeseen asti. Lämmönsiirto pyritään normaalisti jakamaan tasan vaihtimien kesken. Näin saavutetaan parempi sähköntuotannon hyötysuhde kuin pelkässä vastapainekylläessä.

Kaukolämmön lämpötilataso vaikuttaa sähköntuotannon hyötysuhteeseen siten, että

- Kaukolämpöveden paluulämpötilan nousu 1 °C vähentää sähköntuotantoa noin 0.2 %
- Kaukolämpöveden menolämpötilan nousu 1 °C vähentää sähköntuotantoa noin 1 %

Vastapainelaitoksen turbiinin loppupaine vaihtelee välillä 0,2...0,6 bar

(Energiateollisuus ry 2006. 297–298.)

Väliotto-lauhdutuslaitokset

Laitoksissa kaukolämpövettä lämmitetään väliottohöyryllä. Osan höyrystä annetaan tällöin paisua lauhduttimen paineeseen asti. Lauhduttimen toisiopuolella käytetään jäähdytysvettä joko järvi- tai merivedestä tai erillisistä jäähdytyslauhduttimista ja jäähdytystor-neista. Tällaisessa laitoksessa höyrystä saatava energia jakaantuu kahteen osaan:

- Väliottoon saakka laitoksen höyryllä tuotetaan sekä lämpöä että sähköä juuri kuiten vastapainevoimalaitoksessa
- Matalaan paineeseen ajettava höyry tuottaa vain sähköä laitoksen matalapaineosassa.

Sähkön ja lämmöntuotannon määrää säädetään järjestelmässä kuristamalla ja lisäämällä höyrymäärää lauhduttimelle erilaisilla venttiileillä tai luisteilla. Yhteistuotannossa säädöllä saatava hyöty koskee vain vastapaineosaa. Lauhdutusturbiinissa loppupaine vaihtelee välillä 0,02...0,05 bar. Paine on siis huomattavasti matalampi verrattuna vastapainelaitokseen mahdollistaen pidemmän höyrypaisunnan ja täten sähköntuotannon paremman hyötysuhteen.

(Energiateollisuus ry 2006. 298–299.)

2.2.2 Kaasuturbiinilaitokset

Kaasuturbiini on lämmön ja sähkön yhteistuotantoon hyvin soveltuva voimalaitostyyppi. Kokoluokat sopivat suureen osaan kaukolämpölaitosten tehontarpeista. Teknologia kaasuturbiineissa on pitkälle kehittynyt osin siksi, että lentoteollisuudessa tarvitaan vastavia moottoreita. Lentokoneiden kaasuturbiineja on myös muutettu energiantuotantoon lisäämällä näihin generaattori. Tällaiset koneet ovat pienikokoisia tehoonsa nähden. Teho-hintasuhte on suhteellisen matala ja laitosten käynnistettävyys on varsin nopea. Lämmitysvoimalat, jotka käyttävät pelkkää kaasuturbiinia yltyvät 80...85 % kokonaisyötysuhteeseen.

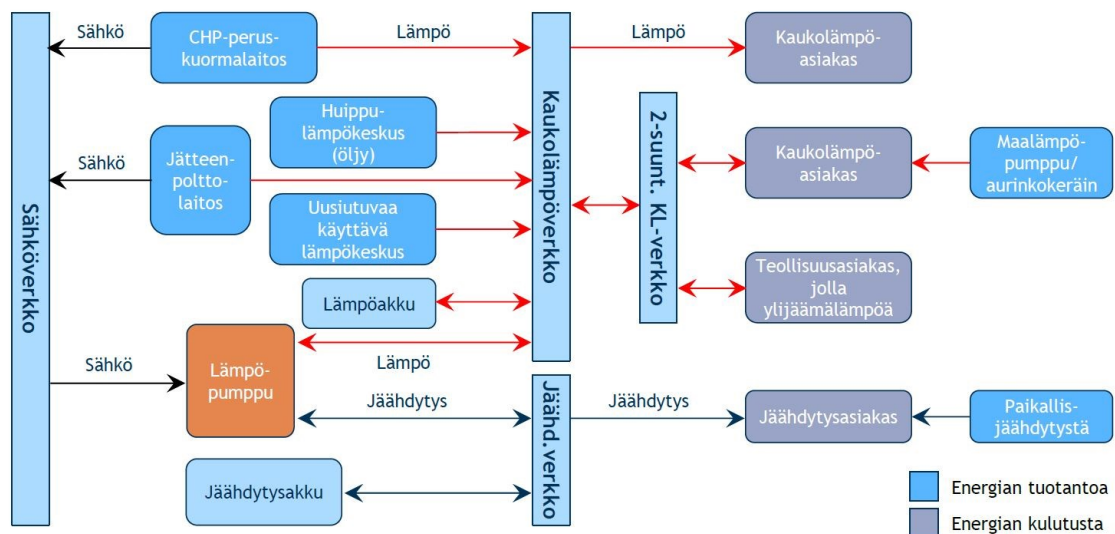
Laitoksen toiminta voi perustua joko suoraan tai epäsuoraan polttotapaan. Suorassa poltossa polttoaine on nestemäistä tai kaasumaista. Epäsuorassa taas voidaan käyttää näiden lisäksi myös kiinteitä polttoaineita. Pääkomponentit ovat ilmaa puristava kompressori, polttokammio tai lämmönsiirrin ja turbiini.

(Energiateollisuus ry 2006. 300–301.)

2.2.3 Kaukolämpöpumppulaitos

Modernit suuren kokoluokan 1–50 MW lämpöpumput, jotka toimivat osana kaukolämpöjärjestelmää, otettiin käyttöön Ruotsissa jo -80 luvulla ja Suomessa 2000 luvun

alkupuoliskolla. Ensimmäinen merkittävä lämpöpumpulaitos oli Helsingin Energian Katri Valan puiston alle sijoitettu laitos. Laitos otettiin käyttöön vuonna 2006. Laitos on vastaavanlainen vuonna 2009 Turun Kakolan jätevedenpuhdistamon yhteyteen rakennetun laitoksen kanssa. Espoon Suomenojalla sijaitsee vuonna 2015 kaukolämpöpumppu. Helsingissä oli pitkään ennen ensimmäistä suurta lämpöpumpuinvestointia tutkittu sen kannattavuutta sekä tehty varauksia pumpuille esimerkiksi jätevesijärjestelmän yhteyteen. Järjestelmä saatiin kannattavaksi, kun lämpöpumpun kylmäenergian myynti mahdollistettiin kaukojäähdytysverkon kautta. (Energiateollisuus ry 2016. 3–5.)



Kuva 1. Havainnekuva suuresta lämpöpumpullisesta kaukolämpöjärjestelmästä (Energiateollisuus ry 2016. 8.)

Lämpöpumppu tuottaa sähköenergialla kiertoprosessissa lauhde-energiaa kaukolämpöverkkoon sekä kylmäenergiaa kaukojäähdytysverkostoon. Mikäli jäähdytysverkoston teho ei riitä kattamaan lämmöntuoton määrää etenkin talviaikana, käytetään jäähdytyspuolella lämmönlähteenä LTO-energiaa. LTO-energia voi olla esimerkiksi jätevettä jäähdyttämällä saatava lämpöenergia. Kaukolämpöasiakkailla on aina kaukolämpöliittymä mutta harvoin kaukojäähdytysliittymää, vaikka kiinteistöissä olisi jäähdytysarvetta. Kaukojäähdytysverkon alue on huomattavasti kaukolämmitysverkostoa suppeampi. Tällöin käytetään kiinteistökohtaista paikallisjäähdytystä, jonka lauhde-energia käytetään pääosin kiinteistön sisäisesti tai siirretään hukkalämpönä ulkoilmaan.

Yleisimmin suurten lämpöpumpujen lämmönlähteenä käytetään yhdyskunnan jätevedestä saatavaa LTO-energiaa. Muita potentiaalisia energialähteitä ovat savukaasut,

kaukolämpö paluuvesi, merivesi tai datakeskusten hukkaenergia. (Energiateollisuus ry 2016. 13.)

Suurista turbo- tai ruuvikompressorilämpöpumpuista saatava menoveden lämpötila on 70...80°C lämmönlähteen lämpötilatasojen ollessa +4...15°C. Tämä asettaa rajoituksia kaukolämmön menoveden lämpötiloille. Lämpöpumpun kattaessa vain osan verkoston tehontarpeesta, voidaan se kytkeä nostamaan lämmitysvoimalalle menevän veden lämpötilaa. Tällöin lämpöpumppu toimii paremmalla hyötysuhde alueella matalamman lämpötilatason johdosta. (Aittomäki, A. 1996. 355.)

2.3 Kaukolämpöverkosto

Kaukolämmön jakeluverkko on kaikissa olosuhteissa suurin investointeja vaativa osa järjestelmässä. Suomessa käytetään kaksiputkijärjestelmää, jonka maksimikäyttölämpötila on 120 °C. Mitä suurempi lämpötilaero meno- ja paluuputken välillä on, sitä pienemmät pumppauskustannukset. Myös siirtoetäisyys voimalalta käyttökohteeseen voi olla pitempi. Suunnittelu perustuu 1.6 MPa suunnittelupaineeseen sekä 120 °C maksimilämpötilaan. Kauempaakin sijaitsevalle asiakkaalle tulee taata 60 kPa paine-eroa. Tässä lämpötilaolosuhteessa putkiston tulee kestää vähintään 30 vuotta. Lisäksi putkiston tulee kestää 50 vuotta jatkuvassa 115 °C käyttölämpötilassa. Yleisin putkimateriaali on kiinni-vaahdotettu teräsputki. (Energiateollisuus ry 2006. 137–139.)

Verkoston suunnittelussa tulee huomioida siihen liitettävät alueet, tehontarpeet sekä alueiden tulevaisuuden kehittyminen 10–15 vuoden tähtäimellä. Laajojen verkostojen laskea on monimutkaista tehdä käsin, joten tätä varten on olemassa tietokoneohjelmia, joilla verkon suunnittelu ja analysointi toteutetaan. Tehontarve mitoitetaan taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Rakennusten ominaislämpöteho ja lämpöindeksi. (Energiateollisuus ry 2006. 154.)

Rakennustyyppi	Ominaislämpöteho vanhat (W/m ³)	Ominaislämpöteho uudet (W/m ³)	Lämpöindeksi vanhat (kWh/m ³)	Lämpöindeksi uudet (kWh/m ³)
Pientalot	22...30	18...20	55...70	40...50
Kerrostalot	22...28	15...20	55...75	45...55
Liikerakennukset	20...34	20...30	45...80	34...45
Julkiset rakennukset	28...38	25...32	50...80	35...45
Teollisuusrakennukset	25...35	15...25	50...70	30...55

Taulukon 1 luvut kerrotaan verrannollisuuskertoimella eri maantieteellisten alueiden mukaan. Esimerkiksi Turussa kerroin on 0.99 ja Helsingissä kerroin on 1.0. Ivalon kerroin on vastaavasti 1.33.

2.4 Liedon lämmön kaukolämpöverkosto

Liedon lämmöllä on viisi laitosta. Päälaitos sijaitsee Liedon Taatilassa. Polttoaineena laitos käyttää puhdasta haketta. Lisäksi lämpöä on tarjolla Piispalassa, Avantin teollisuusalueella, Luolakallion teollisuusalueella sekä Ilmarisissa. Verkostoa lämmittää kesäaikaan myös kunnantalolle vuonna 2020 asennettu kaukolämpölämpöpumppu. Verkostoa kehitetään jatkuvasti sen kattaessa eri alueita. Vuonna 2016 valmistui kuusi kilometriä pitkä siirtoverkko Liedon keskustan ja Avantin teollisuusalueen välille. Tämä 200 millimetriä halkaisijaltaan oleva siirtolinja mahdollistaa lämmön syötön Taatilasta Avantiin ja päinvastoin Avantin kehittyvältä teollisuusalueelta Liedon keskustaan. Kokonaisuudessaan Liedon lämmön verkosto on noin 40 kilometriä pitkä. Vuoden 2016 verkoston tehontarve oli huipussaan 14 MW. Vuonna 2020 tehontarve ylitti 20 MW. Verkostoon onkin liittynyt lähivuosina useita uusia kerrostaloja, teollisuuskiinteistöjä sekä öljylämmityksestä kaukolämpöön siirtyneitä kiinteistöjä.

Taatilan lämpölaitos

Taatilan hakelaitos on vuonna 2002 valmistunut 9 MW -tehoisen hakkeenpolttolaitos. Laitos on puhtaasti lämmöntuotantoa varten, eikä siellä ole sähköntuotantoa. Laitoksen on valmistanut KPA-unicon. Laitokseen on asennettu jälkiasenteinen savukaasupesuri puhdistamaan hakkeenpoltosta syntyviä hiukkaspäästöjä sekä parantamaan energiatehokkuutta. Pesurin savukaasusta talteen ottama teho on 1.5 MW. Pesurin LTO-osaa syötetään kaukolämmön noin 50 °C lämpöistä voimalalle palaavaa vettä, joka lämmitetään noin 58 °C lämpötilaan. Pesuri pystyy tuottamaan maksimissaan 65 °C vettä.

(Ahtiainen, A. 2021.) Pesurin toiminnan optimoimiseksi on tärkeää, ettei laitokselle palaavaa lämpötilatasoa nosteta yli 50 °C. Jos verkoston kaukolämpöpumppu kytkettäisiin lämmittämään paluuvettä, se vaarantaisi savukaasupesurin toiminnan.

Savukaasupesurin yhteyteen on myös mahdollista asentaa lämpöpumppu optimoimaan toimintaa. Lämpöpumppu alentaa laitokselle palaavan veden lämpötilaa ennen savukaasupesuria, joka optimoi savukaasupesurin toimintaa. Lämpöpumpulla syntyvä lauhde ajetaan takaisin linjaan savukaasupesurin jälkeen.

Tautilan voimalan minimiteho on noin 10 % täystehosta eli 0.9 MW. Alhaisella kulutuksella on mahdollista nostaa menoveden lämpötilaa, jotta voimala pysyy käynnissä.

Avantin lämpölaite

Avantin lämpölaite käsittää kaksi 0.9 MW hakekattilaa. Lisäksi varajärjestelmänä toimii 3 MW kevytöljykattila. Laite lämmittää Avantin teollisuuskiinteistöjä, ja se on yhdistetty siirtoverkon kautta myös keskustan linjaan. Laitosten lämmönmyyjänä toimii Adven Oy. (Ahtiainen, A. 2021)

Luolakallion lämpölaite

Uusimpana laitoksena Avanti 3 -teollisuusalueella sijaitsevaan Luolakallioon rakennettiin vuonna 2020 käyttöön otettu 10 MW -tehoisen nestekaasukattilan. Voimalan valmistaja Calortech toimitti laitoksen lohkoissa valmiiksi kokoonpantuna ja sen pystytys työmaalla oli nopea operaatio. Tämä on Liedon lämmön ensimmäinen höyryä tuottava voimala, joka tarjoaa kehittyvän alueen yrityksille lämmitykseen ja prosesseihin höyryä sekä kaukolämpöä. Lisäksi Luolakallioon rakentuu lähitulevaisuudessa 10 MW -tehoisen hakekattilan kaukolämmön tuotantoa varten. Molemmat laitokset yhdistyvät laajaan siirtoverkkoon, josta on mahdollista siirtää lämpöä Liedon keskustaan saakka.

Ilmaristen lämpölaite

Ilmarisissa sijaitsee pieni, 1 MW + 0.5 MW öljykattilan käsittävä lämpölaite. Sen vaikutuspiirissä on lähinnä Liedon kunnan omia kiinteistöjä kuten koulu ja päiväkotit.

Piispalan lämpölaite

Liedon vesitornin läheisyydessä sijaitseva, lähinnä varavoimalana käytettävä, kevytöljykattila on teholtaan 1.8 MW. Sitä käytetään mahdollisen verkoston putkirikon tai häiriötilanteen sattuessa.

3 KIINTEISTÖKAUKOLÄMPÖPUMPPULAITOS

3.1 Laitteisto

Markkinoilta löytyy useita valmistajia, joiden valikoimasta löytyy kaukolämpöläuhtukseen soveltuvia lämpöpumppuja sekä vedenjäähdyttämiä. Ennen laitteiston valintaa tulee olla suunniteltuna laitteiston mitoitusmekanismi jäähdytys- ja lämmitysteho sekä lämpötilatasot. Myös laitteistojen äänitasoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota tarjouspyyntövaiheessa kotelointien ollessa usein lisävaruste.



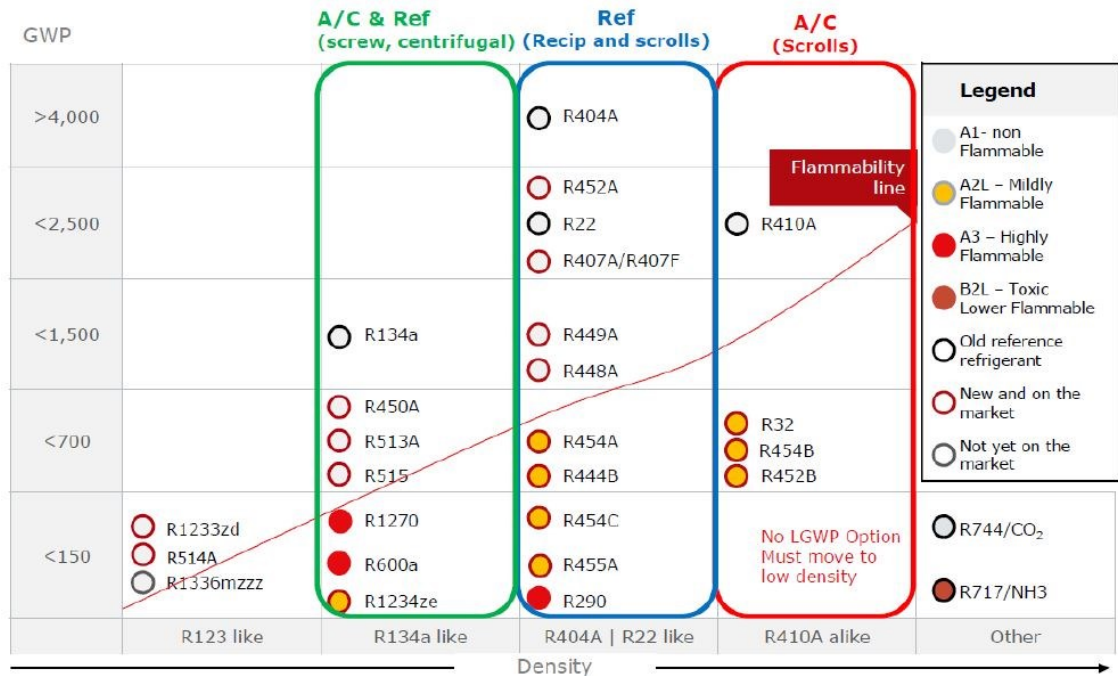
Kuva 2. Kaukolämpöläuhtuteinen vedenjäähdytin

Kuvassa 2 on esitetty kaukolämmön paluvedestä kaukolämmön menovettä tuottava vedenjäähdytin. Laite on jäähdytysteholtaan 150 kW 15/10 °C jäähdytysvedellä. Koneikko on varustettu neljällä saman tehoisella scroll-kompressorilla sekä levylämmönvaihtimilla. Kompressorit toimivat 25 % tehoportaina, joita laitteiston PID-säädin ohjaa sekä vuorottelee. Huippulauhdetehto 60/67 °C lauhdevedellä on 222 kW.

3.1.1 Kylmäainevalinta

Kylmäaineet eli F-kaasut ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Kylmäaineiden F-kaasunasetuksen rajoitukset luovat markkinoille jatkuvasti uusia ympäristöystävällisempiä

kylmäaineita. Kylmäaineiden lämmitysvaikuista ilmastoon ilmaistaan GWP-arvolla. Yli 2500 GWP arvon kylmäaineiden käyttöä uusissa kiinteistön ilmastoinnin jäähdytyskoneissa rajoitettiin vuonna 2020. (Tukes. 2021).



Kuva 3. Kylmäaineluettelo GWP-arvon ja turvaluokituksen mukaan. (Hakala, P 2019. 12.)

Kuvassa 3 esitetään perinteinen kylmäaine sekä sen matalan GWP-arvon korvaajat. Kylmäaineiden vertailu korkean painesuhteen ja lauhdelämpötilan lämpöpumpuissa on tärkeässä roolissa. Suuret täytökset vaativat myös kylmäalan ammattilaisen tekemän vuototarkastuksen. Lisäksi palavien ja lievästi syttyvien kylmäaineiden vaikutus konehuoneiden tuuletukseen tulee ottaa huomioon.

Laitteen sisältämän F-kaasun lämmitysvaikutus	Normaali tarkastusväli	Tarkastusväli, jos laitteessa on vuotojen havaitsemisjärjestelmä
väh. 5 t CO ₂ -ekv., mutta alle 50 t CO ₂ -ekv.	12 kk	24 kk
väh. 50 t CO ₂ -ekv. mutta alle 500 t CO ₂ -ekv.	6 kk	12 kk
väh. 500 t CO ₂ -ekv.	3 kk	6 kk ^{a)}

Kuva 4. Vuototarkastusväli. (Hakala, P 2019. 5.)

Kuvassa 4 on esitettyä vuototarkastusraajat kylmäaineen ekvivalenttitonnin mukaan. Vuototarkastus lisää huoltokustannusta mutta pitää myös laitteiston säännöllisesti tarkastettuna ja huollettuna.

Yleisimmin lämpöpumppukäytössä olevat kylmäaineet:

R134a

R134a on matalapaineinen, yksikomponenttinen kylmäaine. Sillä ei lämpötilaliukumaa. Kylmäaine ei sovellu matalille höyrystymislämpötiloille. (Hakala, P & Kaappola, E. 2013. 24.) Soveltuu hyvin korkeampiin lauhdelämpötiloihin sekä ilmastoinnin jäähdytykseen.

- GWP-arvo 1430
- Turvaluokitus A1
- HFC-aine

R410a

Seoskylmäaine, jonka komponentteina on R32 sekä R125. Atseotrooppista seosta vastaava seoskylmäaine, jolla on vain 0.2 K lämpötilaliukuma. Höyrinpaine lämpötilassa 46 °C on 26 bar. Korkea höyrinpaine vaatii erikoisrakenteisia kompressoreita korkeammissa lämpötilatasoissa. (Hakala, P & Kaappola, E. 2013. 24.) Kyseinen kylmäaine soveltuu huonosti korkean lauhdelämmön kylmäkoneisiin korkean painetason takia.

- GWP-arvo 2088
- Turvaluokitus A1
- HFC-aine

R407C

Seoskylmäaine, joka sisältää R32, R125 ja R134a. R407C on tseotrooppinen seos suurella 7K lämpötilaliukumalla, lämpötilaliukuma on otettava huomioon laitoksien suunnittelussa. Kylmäaine on hyvä ilmastoinnin jäähdytyksessä keskilämpötila alueella. Ei sovellu korkeisiin lauhdelämpötiloihin. (Hakala, P & Kaappola, E. 2013. 24.)

- GWP-arvo 1777
- Turvaluokitus A1
- HFC-aine

R1234ze

Kuvasta 3 voidaan todeta kylmäaineen olevan ominaisuuksiltaan R134a:ta vastaava. Kylmäaine on lievästi palava mikä vaikuttaa konehuonevaatimukseen. Kyseessä on ympäristöystävällinen matalan GWP-arvon aine. Se soveltuu korkean lauhteen sovelluksiin sekä ruuvikompressorikäyttöön.

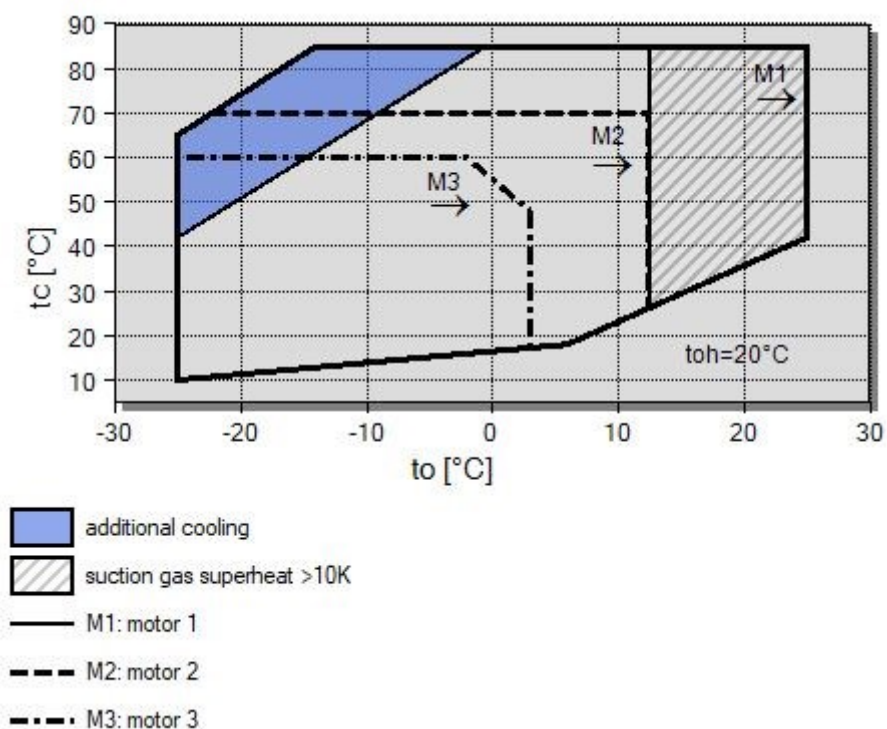
- GWP arvo 7
- Turvaluokitus A2L
- HFO-aine

3.1.2 Kompressorivalinta

Kylmätekniikassa käytetään pääasiallisesti mäntä-, ruuvi, scroll-, rotaatio- ja turbokompressoreita. Rakenteeltaan kompressori voi olla hermeettinen, puolihhermeettinen tai avokompressori, riippuen sähkömoottorin rakenteesta. Hermeettinen kompressori on käytännössä suljettu rakenne, kun taas puolihhermeettisen kompressorin voi purkaa osiin sekä huoltaa.

Mäntäkompressori

Hermeettiset ja puolihhermeettiset kompressorit voivat olla mäntäkompressoreita. Se on yleisin kompressorirakenne ja etenkin puolihhermeettiset mäntäkompressorit ovat luotettavia. Kompressorin hyötysuhde on korkean lauhteen sovelluksissa hyvä ja toiminta alue laaja.



Kuva 5. Erään valmistajan puolihhermeettisen mäntäkompressorin toiminta-alue.

Kuvasta 5 voimme nähdä mäntäkompressorin toiminta-alueen kylmäaineella R134a.

- t_c =lauhtumislämpötila
- t_o =höyrystymislämpötila
- Δt_{oh} =imuhöyryn tulistus

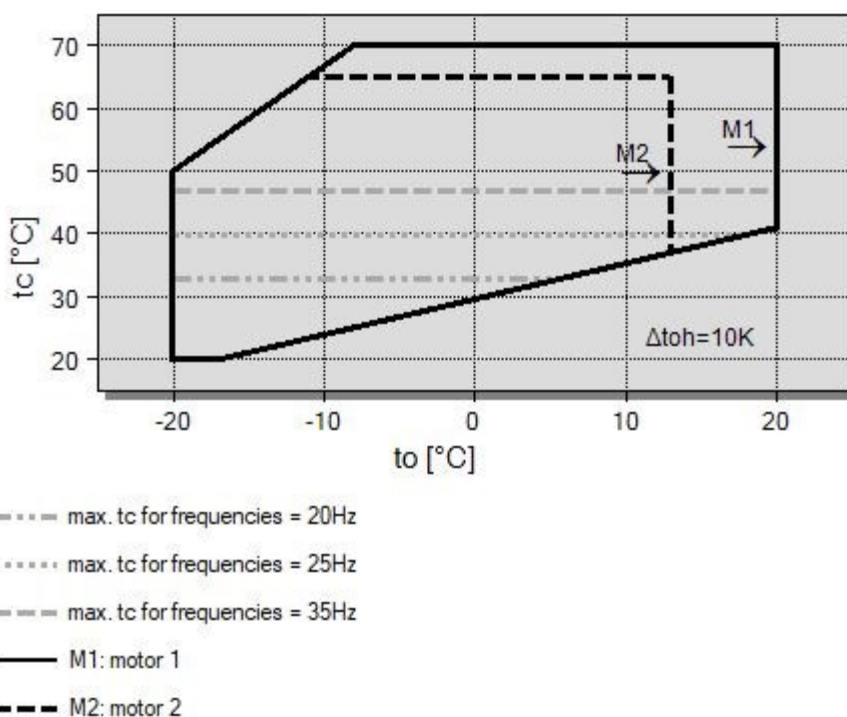
Kompressorin sallima maksimilauhdelämpötila on 85 °C vielä 0 °C höyrystymislämpötilalla. Lisäksi erillisellä kompressorin kansijäähdytyksellä voidaan höyrystymislämpötilaa pudottaa kuvan 5 sinisellä merkityn alueen lämpötilatasoon. Kansijäähdytys voidaan toteuttaa puhaltimilla tai esimerkiksi nestekiertoisena LTO-verkoston. Kompressorin hyötysuhde 67 °C lauhteella sekä +9 °C höyrystymislämpötilalla on noin 2,16.

Korkeimpana HFC-kylmäaineen lämpötilana mäntäkompressorissa voidaan pitää 120...150 °C ja tämäkin vain hetkellisesti. Vaarana on kylmäaineen kestävyysongelma yhdessä öljyn sekä kompressorin rakenneaineiden kestävyysongelman kanssa. Öljyn lämmetessä liikaa, viskositeetti romahtaa ja seurauksena voi olla kompressorin kiinnileikkautuminen. (Aittomäki, A. 1996. 133)

Ruuvikompressorit

Ruuvikompressorit ovat kestäviä sekä melko huoltovapaita kompressoreita. Jäähdytyskäytössä, ruuvikompressorit ovat usein öljyruiskutteisia, jolloin sylinteriin ruiskutetaan runsaasti öljyä ja täten pääroottori voi pyörittää sivuroottoria. Lämpöenergiaa siirtyy öljyyn ja kompressorin on mahdollista ajaa korkealla, jopa 15 painesuhteella. (Aittomäki, A. 1996. 153). Energiatavokkaan öljynjäähdytyksen toteuttamiseksi lämpö sidotaan lämpöpumppukäytössä esimerkiksi lauhdeveteen.

Ruuvikompressorin edut mäntäkompressorin verrattuna ovat mm. pitkäikäisyys, huoltoväli voi olla jopa 50 000 tuntia. Ruuvikompressorin sallii suuren painesuhteen yksiasteisella puristuksella. (Aittomäki, A. 1996. 154). Haittapuolena ruuvikompressorit ovat yleensä mäntäkompressoreita arvokkaampia.

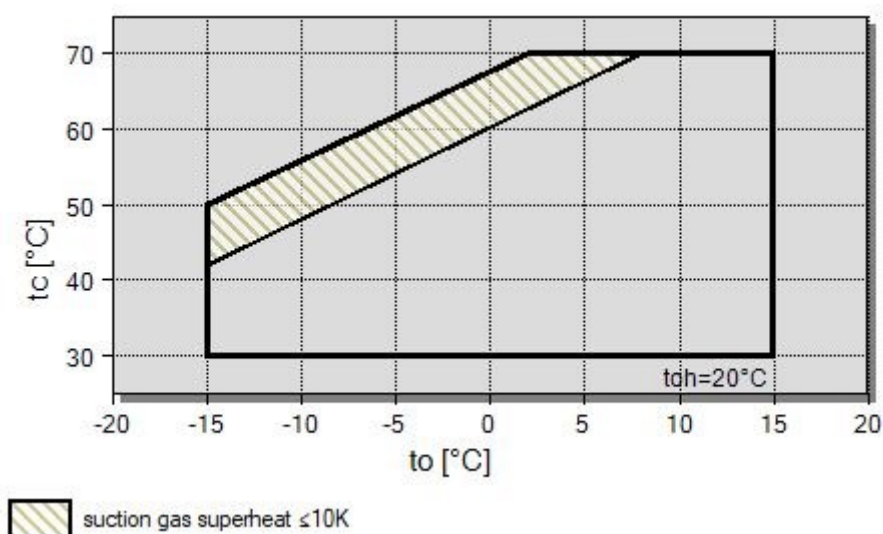


Kuva 6. Erään valmistajan ruuvikompressorin toiminta-alue

Kuvassa 6 nähdään erään kompressorivalmistajan ruuvikompressorin toiminta-alueen kylmäaineella R134a. Huippulauhde 70°C saavutetaan vielä -8 °C höyrystyslämpötilalla. Eri valmistajien kompressorit voivat poiketa suuresti toisistaan. Ruuvikompressorin hyötysuhde 67 °C lauhteella sekä +9 °C höyrystyslämpötilalla on noin 1,95.

Scroll-kompressorori

Scroll-kompressorori, eli kierukkakompressorori on toiminnaltaan ruuvikompressorin tyylinen mutta puristus tapahtuu säteen suuntaisesti. Scroll-kompressororit olivat pitkään arvokkaita mutta uudet työstömenetelmät ovat tuoneet hinnat alas. Scroll-kompressororit ovat edullisempia verrattuna ruuvikompressoreihin. Hermeettinen scroll-kompressorori on yleinen lämpöpumppu ja vedenjäähdytyssovelluksissa. Venttiilitön rakenne ja hiljainen käyntiäni tuovat etuja etenkin pieniin lämpöpumppuihin. Suurissa laitteissa kompressorori on kuitenkin melko äänekäs.



Kuva 7. Erään valmistajan scroll-kompressorin käyttöalue

Kuvassa 7 scroll-kompressorin käyttöalue kylmäaineella R134a. Kuten huomataan verrattuna mäntä ja ruuvikompressororiin, käyttöalue on huomattavasti suppeampi. Scroll-kompressorin hyötysuhde 67 °C lauhteella sekä +9 °C höyrystymislämpötilalla on noin 2,04.

3.1.3 Automaatio

Laitteiden logiikoiden sekä säätimien valmistajia on useita. Ominaisuudet sekä yhteensopivuudet taloautomaatioon esimerkiksi ModBus- tai BACnet-verkon kautta tulee selvittää laitevalmistajalta. Laitteita voidaan ohjata usein antamalla yksinkertaisia kärkeittokäskejiä taloautomaatiosta tai vastaavasti ModBus-pohjaisesti. Lisäksi eri valmistajien

tarjoamat kylmäautomaatiojärjestelmät tarjoavat yksityiskohtaiset mittaus- ja säätötiedot myös etäyhteyden välityksellä.

3.1.4 Kylmäpiirin komponenttien valinta

Kylmäpiirin pääkomponentti on kompressorin. Kompressorin valinnassa kannattaa tarkastella kompressoreiden lukumäärää, käyttöikä ja varaosakompressorin hintaa. Lisäksi tehonsäädön toteutus kompressorien määrällä tai vaihtoehtoisesti kierrosnopeutta muuttamalla taajuusmuuttajalla. Lämpöpumppusovelluksen tehoportaat on hyvä jakaa ainakin neljään tehoportaaseen tai valita portaaton tehonsäätö.

Kylmäaineen ruiskutuksesta vastaava paisuntaventtiili tulee tarkan tulistussäädön mahdollistamiseksi olla elektroninen. Elektroninen paisuntaventtiili mahdollistaa myös toiminta arvojen tarkemman seuraamisen säätimen näytöltä tai etäyhteydellä.

Lämmönvaihtimena käytetään levy- tai moniputkilämmönvaihinta. Moniputkilämmönvaihdin soveltuu huonosti kylmäaineille, joilla on suuri lämpötilaliukuma. Moniputkivaihtimen rakenne on vaikea toteuttaa täysin mahdollistamaan vastavirtakytkentä. Täten lämpötilaero laitteistossa kasvaa ja laitteiston hyötysuhde heikkenee. (Hakala & Kaappola 2013. 85.)

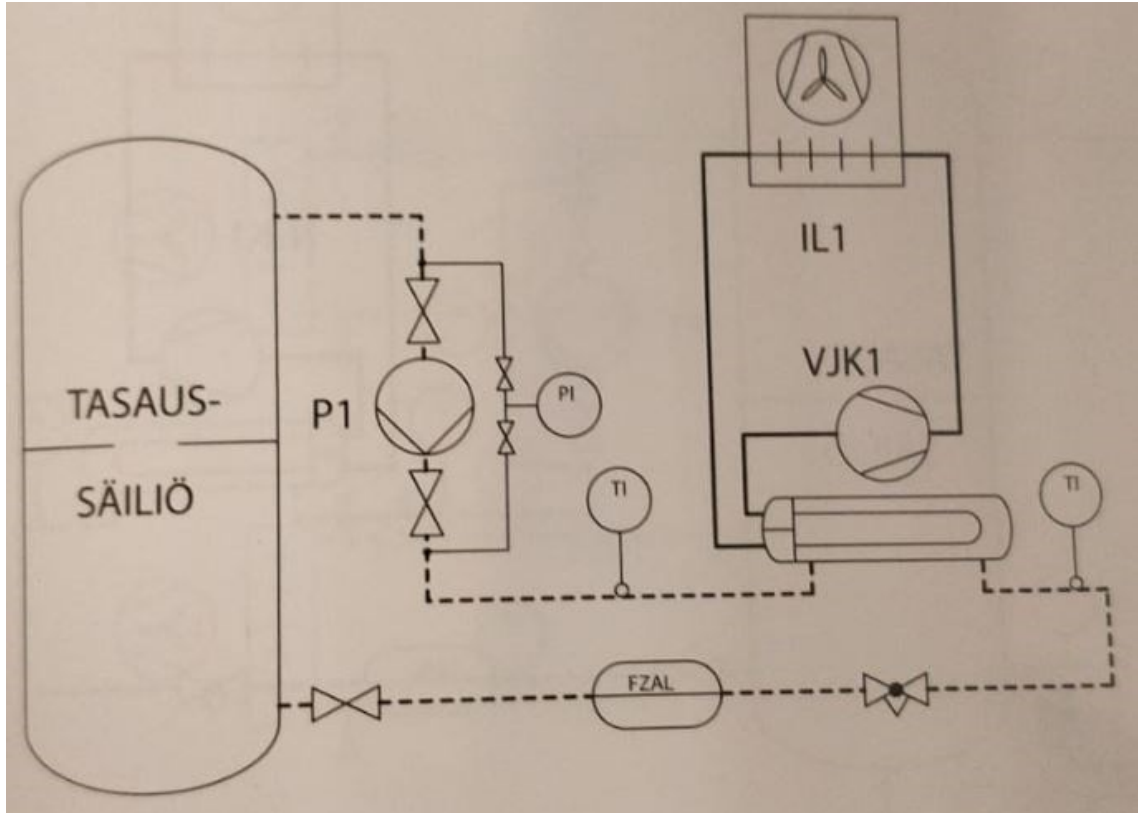
3.1.5 Ensiövesipiiri ja komponentit

Ensiövesipiirin mitoituksessa tulee huomioida Energiategollisuus ry 2020 Rakennusten kaukolämmitys K1 kaukolämpömitoitusohje. Koneikon lauhtutin tulee olla paineluokaltaan 1.6 MPa mitoituspainella, maksimipainehäviö 20 kPa sekä liitostavat kaukolämpöohje K1 mukaiset. Valmistajan/maahantuojan on pyydettäessä pystyttävä esittämään siirtimen lämpötekniiset ominaisuudet, aikavakiot ja mitoituslaskelmat. Lisäksi tulee tarvittaessa antaa selvitys kaikista vaihtimessa käytetyistä materiaaleista. (Energiategollisuus ry 2020. 13--14.)

Kaukolämpöpumppaamo mitoitetaan kaukolämpöjohdon virtaaman ja paineenkorotustarpeen mukaan. Tämä vaatii yleensä kaukolämpöverkoston putkistosimuloinnin avulla tehtävän pumpun toimintapisteen mitoituksen.

3.1.6 Toisiovesipiiri ja komponentit

Toisiovesipiiri mitoitetaan kiinteistön jäähdytysverkoston mitoitusarvojen mukaisesti. Järjestelmän peruskyltensä välisäiliöllä esitetään kuvassa 8.



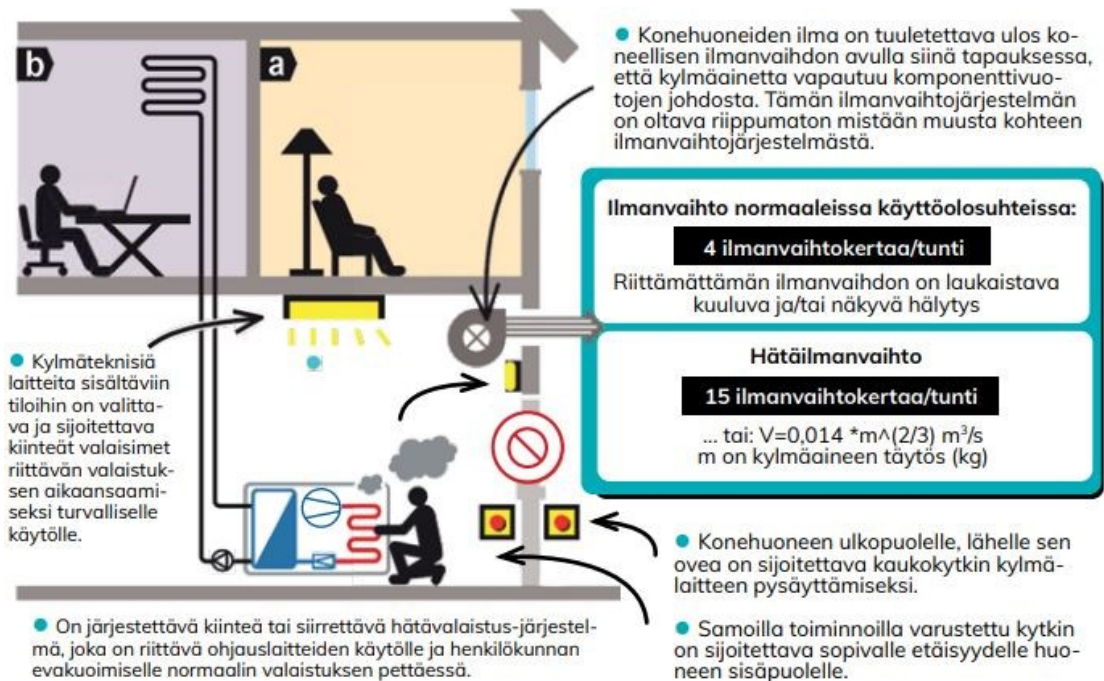
Kuva 8. Vedenjäähdyttimen peruskyltensä tasaussäiliöllä. (Hakala, P & Kaappola, E 2013. 211.)

Laitteiston mukana yleensä toimitettava virtausvahti (FZAL) on tärkeä turvavaruste lämmönvaihtimen jäätyksen estämiseksi. Virtausvahdin asennus vaaditaan usein valmistajan takuehdoissa. Tasaussäiliön mitoitukseen voidaan käyttää nyrkkisääntöä $24 \text{ dm}^3/\text{kW}$ jäähdytystehoa. Jäähdytystehona tasaussäiliön mitoituksessa käytetään pienintä koneen osatehoa. (Hakala, P & Kaappola, E 2013. 212.). Lämmönvaihtimina voidaan käyttää levylämmönvaihdinta tai moniputkilämmönvaihdinta.

3.1.7 Konehuonevaatimukset

Konehuonevaatimukset eri kylmäaineita sisältäville kylmäkoneille esitetään SFS-EN-378-1 standardissa.

Konehuoneen mittojen tulee olla sellainen, että laitteiston asennus ja huoltotoimenpiteet on mahdollista suorittaa henkilön joka käyttää henkilösuojaimia.



Kuva 9. Konehuonevaatimuksia. (AREA 2017.)

Konehuoneen sisältäessä A2L, A2, A3, B2L, B2 tai B3 kylmäaineita tulee konehuoneerakenteet arvioida Atex-standardin EN 60079-10-1 vaatimusten mukaisesti. Hätäilmanvaihto on järjestettävä kipinöimättömillä poistoilmamooottoreilla siten että vuotohälytyksen syntyessä tilan ilma vaihtuu minimissään 15 kertaa tunnissa. Vuotohälytys annetaan 25 % alemmasta syttymisrajasta. (Vettenranta, J. 2017). Kaasuntunnistimet on asennettava sellaiseen paikkaan, jonne vuotava kylmäainekaasu kerääntyy. Hälytysjärjestelmän on annettava hälytys sekä konehuoneessa ja sen ulkopuolella. Hälytysjärjestelmän virransyötön on oltava itsenäinen. (AREA 2017)

4 LIEDON KUNNANTALO

4.1 Kohteen yleistiedot

Uusi kunnantalo rakennettiin vanhan kunnantalon viereen, Liedon kirkonkylään aivan kirkon tuntumaan. (Arkkitehtitoimisto Sipinen Oy)

- Rakennusvuosi 1993
- Rakennuttaja Liedon kunta
- Hyötyala 4 500 m²
- Bruttoala 7 300 m²
- Tilavuus 29 000 m³

Kolmikerroksinen kunnantalo toimii kunnan toimielimien toimistotiloina, kuten rakennusvalvonnan ja sosiaalipalveluiden keskuksena. Ensimmäisessä kerroksessa toimii kirjasto sekä lounasravintola. Toisessa kerroksessa on toimistotiloja sekä valtuustosali. Kolmannessa kerroksessa toimii tekniikan ja sosiaalipalveluiden toimihenkilöt.

4.2 Vanha jäähdytysjärjestelmä

Kunnantalon vanha järjestelmä oli perinteinen liuoskiertoinen vedenjäähdytin. Kenttälaitteina toimistoja jäähdyttävät jäähdytyspalkkiverkosto omalla alashuntauksella sekä IV-jäähdytysverkosto, joka syötetään suoraan jäähdytysveden tasaussäiliöstä. Alkuperäiseen jäähdytysverkostoon ei ollut tehty merkittäviä laajennuksia. Rakennusvuonna 1993 käyttöön otetun Trane merkkisen jäähdyttimen kylmäaineena toimi jo vuonna 2000-huolto- ja asennuskieltoon asetettu HCFC-kylmäaine R22, joka tunnetaan myös tuotenimellä freoni. Laite siirsi lauhde-energian moniputkilämmönvaihtimen kautta katolla sijaitsevaan liuosjäähdyttimeen. Lisäksi lauhdeliuospiiriin on asennettu IV-esilämmityspatteri, jonka käyttöä jäähdytyskaudella ei juuri voitu hyödyntää, koska lämmitystarve on olematon. Kylmäenergia siirrettiin moniputkilämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen. Järjestelmässä on 1000 dm³ tasaussäiliö, joka vastaa melko hyvin nyrkkisääntömitoitusta 24 dm³/kW pienintä jäähdytyksen osatehoa kohti. Vanhan järjestelmän pienin osateho oli 49kW. Järjestelmän pääkomponentteina toimivat kaksi samankokoista puolihiermeettistä mäntäkompressoria, molemmat olivat varustettu kansitehonsäädöllä, joka puolittaa kompressorin tehon. Kansitehonsäädön hyötysuhde on melko hyvä sen aiheuttaessa

vain pienen virtaushäviön kompressorin sylintereissä ja venttiileissä. (Aittomäki, A 2012. 144). Kokonaiskylmäteho koneikossa 195kW olosuhteessa palaava vesi 14°C ja lähtevä vesi 9°C. Lauhdelämpötila 32°C. Laitteen teho on kiinteistön alkuperäisen jäähdytystarpeen mukainen.

4.3 Hankesuunnittelu

Vanhan vedenjäähdytyslaitteen uusiminen tuli ajankohtaiseksi siinä havaittujen pienten kylmäainevuotojen vuoksi. Koska laitteen kylmäaine R22 on haitallinen ilmastolle sekä otsonikerrokselle, se on asetettu huoltokieltoon 1.1.2015. Ainoa vaihtoehto elvyttää laitetta oli joko kylmäainevaihto ja vuotojen korjaus tai laitteiston uusiminen. Kuitenkin 27 vuotta vanha kylmälaiteisto oli jo ylittänyt teknisen käyttöikänsä. Samalla ajatus lauhde-energian hyötykäytöstä nostettiin esiin. Miksi energiaa hukataan taivaan tuuliin, eikä kunnalla olisi jotain käyttökohdetta tälle energialle. Tässä kohtaa kunnan tekninen osasto antoi toimeksiannon järjestelmän suunnittelulle. Lähtökohtana oli kiertotalousajattelu malli energian kierrätyksestä sekä hiilineutraalius. Energia tulisi saada uusiokäytettyä jollain tavalla. Lisäksi kunnantalon katolle asennetut aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa aurinkoisina kesäkuukausina, eli juuri jäähdytyskaudella, jolloin sähköenergiaa on käytettävissä jäähdytykseen.

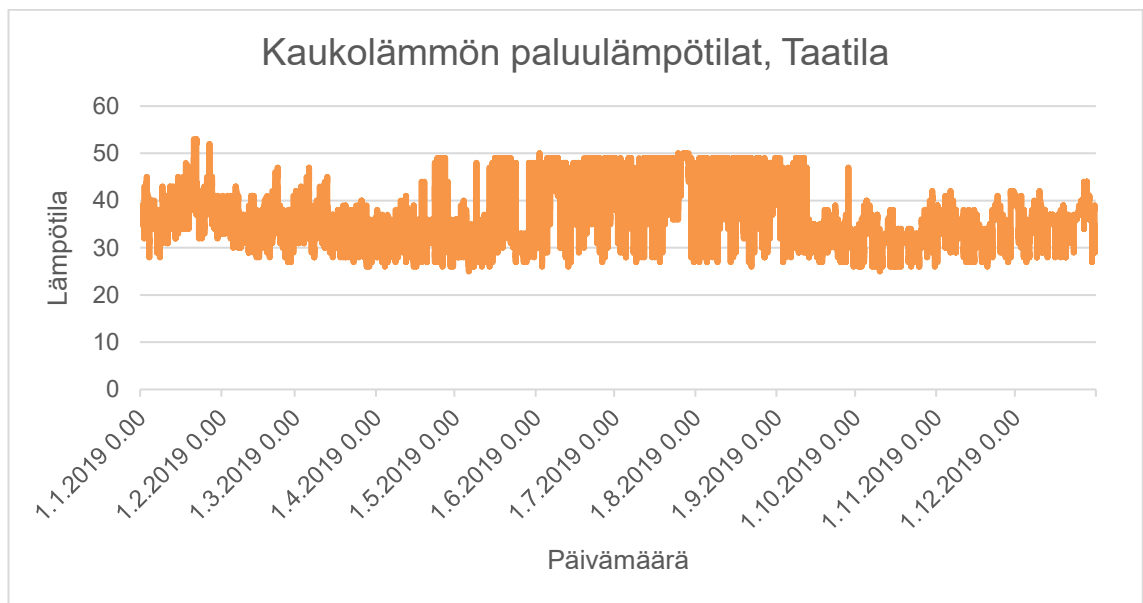
Jäähdytyksen sivutuotteena syntyvä lämpöenergian tuotanto painottuu pitkälti kesäkuukausiin, jolloin tarvetta lämmitysenergialle paikallisesti kunnantalolla on lähinnä käyttöveden tuotantoon. Tämä kulutus on kuitenkin kiinteistössä melko marginaalista, joten energia pitäisi saada hyödynnettyä muualla. Suunnittelun edetessä nähtiin mahdolliseksi hyödyntää Liedon lämmön kaukolämpöverkostoa lauhde-energian siirtoa varten pois kunnantalon kiinteistöstä.

Kaukolämpöverkkoa hyödyntäessä ideaalein tilanne olisi ottaa kaukolämmön paluuvettä kunnantalon kaukolämpöputkesta ja palauttaa se lämmitettynä kaukolämmön menoputkistoon. Tällöin liittymä muuttuisi kaksisuuntaiseksi ja kunnantalo muuttuisi kesäaikaan kaukolämmön kuluttajasta, kaukolämmön tuottajaksi. Etenkin prosessiteollisuudessa yleisesti käytettävien, keskisuurten lämpöpumppujen käyttö kunnantalon jäähdytykseen todettiin laskennallisesti järkeväksi.

4.3.1 Järjestelmän mitoitusarvot

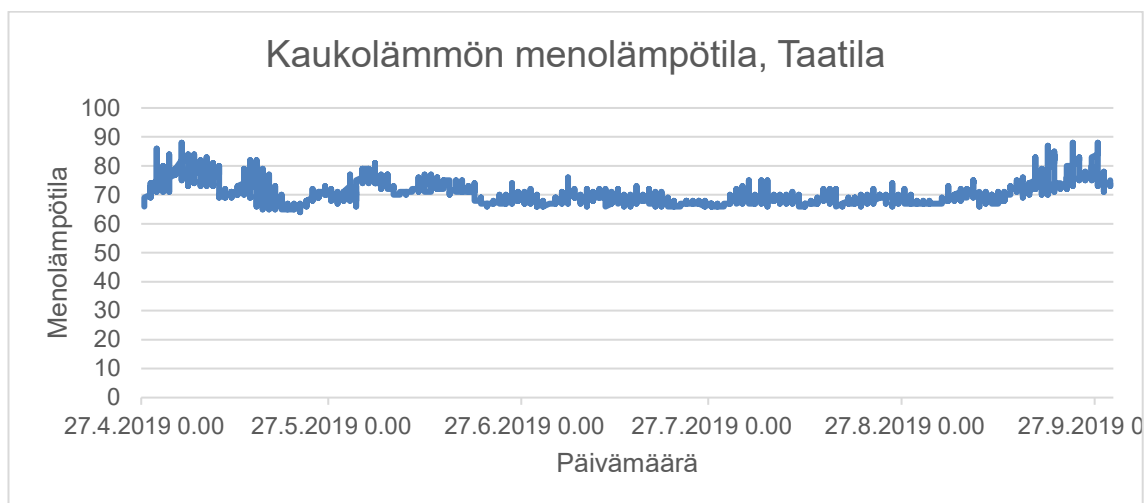
Lämpötilatasojen tarvittavat mitoitusarvot haettiin kaukolämpöverkoston kesäaikaisesta historiatrendistä. Näitä tarkastelemalla saatiin data laitteiston mitoisteknisille vaatimuksille.

Taulukko 2. Kaukolämmön paluulämpötiladata vuodelta 2019



Taulukosta 2 huomataan, että paluulämpöjohtoon kesäaikainen ylin lämpötila ei ylitä 50°C lämpötilaa. Tällöin laitteelle tulevan veden lämpötilan alimmaksi mitoitusarvoksi asetettiin 50°C. Kuitenkin alempana todetuista teknisistä rajoituksista johtuen alin lauhdelämpötila tuli nostaa 57°C.

Taulukko 3. Kaukolämmön kesäkuukausien menolämpötiladata vuodelta 2019



Taatilan kaukolämpövoimalan menolämpötila esitetään taulukossa 3. Siitä voidaan huomata menoveden lämpötilan nousevan keväällä ja alkusyksystä yli 70 °C. Tämä lämpötilataso on kriittinen yksivaiheiselle kylmäprosessille, koska kuumakaasun lämpötila kiertoprosessissa nousee perinteisillä kylmäaineilla korkeaksi, jolloin se heikentää kompressoreiden voiteluöljyn sekä kylmäaineen ominaisuuksia ja täten kompressoreiden kestävyyttä.

Liedon lämmön asiakkailleen lupaama minimi kaukolämpöveden menolämpötila on 65 °C. Lämpöpumpun mitoituksen lähtöarvoksi päätettiin asettaa lähtevän veden lämpötila 67 °C. Tällöin takuumenolämpötila täyttyy eikä lämpötilataso ole liian suuri yksivaiheiseen kylmäkiertoprosessiin. Kunnantalolta runkoverkkoon syötettävä menovirtaus sekoittuu runkolinjassa, jolloin lämpötila nousee mitoitusta korkeammalle tasolle etenkin kevät- ja syyskaudella.

Välillisessä lauhdutuksessa suositeltu lämpötilaero levylämmönvaihtimen tulevan ja lähtevän nesteen välillä on 5--8 °C. (Hakala & Kaappola 2013. 85.) Lauhdelämpötilaa rajoittaa yleisimmin valmistajien vakiolauhduttimien mitoituslämpötilaero. Erikoislauhdutin nostaa hankintakustannusta. Mitoituslauhdelämpötilojen 50 °C/67 °C lämpötilaero 17 °C. Jotta virtaus pysyy turbulenttina ja lauhduttimen toiminta varmistetaan, nostetaan tulevan veden mitoituslämpötilaksi 57 °C, jolloin taataan 10 °C lämpötilaero vaihtimelle. Kytkentä täytyy suunnitella siten, että tulevan kaukolämpöveden lämpötilaa pystytään kierrättämällä nostamaan kaukolämmön paluuvettä korkeampaan lämpötilatasoon. Vesivirtojen mitoituslämpötilaerona käytetään jatkossa 10 °C lämpötilaa.

Tehontarpeita mitoittaessa kunnantalon jäähdytystehontarve oli pysynyt ennestään vakiona. Käyttäjien kokemukseräisen tiedon mukaan vanhan järjestelmän teho on ollut riittävä, eikä käyttäjiltä ole tullut valituksia kuumuudesta kuin satunnaisten vanhan jäähdytysjärjestelmän vikatilanteiden johdosta. Joihinkin jäähdyttämättömiin tiloihin oli asennettu erillisiä jäähdyttimiä eikä lisäjäähdytystarvetta jäähdytysvesipiiristä koettu tarpeelliseksi. Mitoitusjäähdytysteho pysyi siis ennallaan 195 kW:ssa.

Kohteen konehuone asetti tietyt rajoitukset kylmäaineelle. Kylmäaineen tuli olla kohdassa 3.1.1 mainittu A1 turvaluokan aine. Mikäli kylmäaine olisi muutettu esimerkiksi A2L luokan lievästi palavaksi kylmäaineeksi, olisi konehuonevaatimuksien täyttämiseen tarvittavat muutoslisätyöt nostaneet hankintakustannusta jopa 10 %. Kylmäainevalintaa ei rajattu tarjouspyyntövaiheessa tämän tarkemmin. Sopiva kylmäainevalinta kohteeseen oli jo esimerkiksi luvussa 3.1.1 käsitelty R134a.

Laitteiston suoritusarvoja lähdettiin tarkastelemaan LOG(p)-h diagrammin avulla. Lasketut kylmäaineiden ominaisuudet on suoritettu laskentaohjelmalla CoolPack versio 1.50.

Cycle input X

Select cycle type:

One stage Two stage, closed intercooler
 Two stage, open intercooler Two stage, open intercooler, load at intermediate pressure

Cycle name: Draw cycle

Values:

Evaporating temperature:	<input type="text" value="5,00"/> °C	Condensing temperature:	<input type="text" value="68,00"/> °C
Superheat:	<input type="text" value="2,00"/> K	Subcooling:	<input type="text" value="1,00"/> K
Dp evaporator:	<input type="text" value="0,30"/> Bar	Dp condenser:	<input type="text" value="0,30"/> Bar
Dp suction line:	<input type="text" value="0,00"/> Bar	Dp liquid line:	<input type="text" value="0,00"/> Bar
Dp discharge line:	<input type="text" value="0,00"/> Bar		
Isentropic efficiency [0-1]:	<input type="text" value="0,70"/> <input <="" td="" type="button" value="Q loss..."/> <td></td> <td></td>		

Cycle creation

Create new

Calculated:

Qe [kJ/kg]: 10000.000
Qc [kJ/kg]: 10000.00
COP: 2.34
W [kJ/kg] 10000.00
W high [kW] 10000.00
(m high)/(m low): 0.00000000
m low [kg/s]: 0.00000000
m high [kg/s]: 0.00000000

Kuva 10. Log(p)-h diagrammin lähtöarvot

Evaporating temperature: 8,00 °C, höyrystyslämpö, joka on 1 °C alhaisempi kuin alin lähtevän veden lämpötila 9 °C.

Superheat: 2,0 °C. Tulistustilä, joka saavutetaan höyrystimen loppuosassa höyryn tulistuksessa, kylmäaineen ollessa täysin kaasuuntunut.

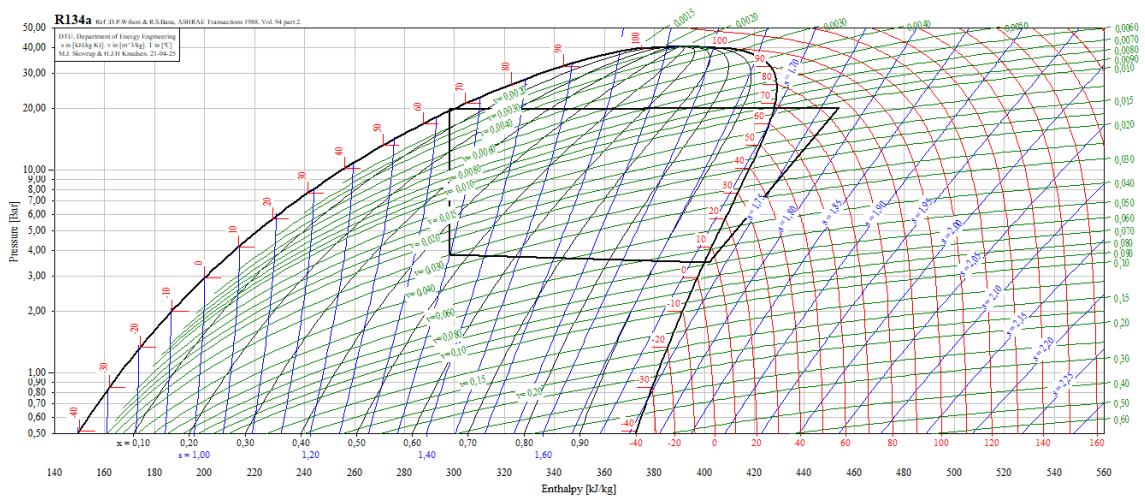
D_p evaporator: 0,3 bar. Höyrystimen aiheuttama painehäviö kylmäainekierto.

Isentropic efficiency: 0,7. Kompressorin rakenteen painehäviöt sekä puristuksen lämpöhäviöt huomioon otettava isentrooppinen hyötysuhde. Arvona käytetään usein 0,6...0,7. (Hakala & Kaappola 2013. 13.)

Condensing temperature: 68,00 °C. Kylmäaineen lauhtumislämpötila, joka on lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaa 1K korkeampi.

Subcooling: 1 °C. Lauhtumisen lopussa saavutettava kylmäainenesteen alijäähtyminen.

D_p condenser: 0,3 bar. Lauhduttimen aiheuttama painehäviö kylmäainekierto.



Kuva 11. Log(p)-h diagrammi R134a lämpöpumpun toimintapisteessä.

Prosessissa kylmäntuotto q_0 saadaan kaavasta

$$q_0 = h_0 - h_a \rightarrow q_0 = 404 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 298 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 106 \text{ kJ/kg}$$

Kaava 1. Kylmäntuoton kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)

- h_0 = lähtevän höyryn entalpia 404 kJ/kg

- Kuvan 4. tilapiirroksesta saatu kompressorille tulevan imukaasun entalpia.
- $h_a = \text{tulevan nesteen entalpia} \quad 298 \text{ kJ/kg}$
- Kuvan 4. tilapiirroksesta saatu höyrystimelle ruiskutettavan nesteen entalpia.

Laitoksessa kiertävä kylmäaineen massavirta saadaan jakamalla haluttu kylmäteho (kW vastaavasti kJ/s) kylmäaineen kylmäntuotolla (kJ/kg)

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} \rightarrow \frac{195 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{106 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1,845 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Kaava 2. Massavirran kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)

- Kylmäteho \dot{Q}_0 195 kW (kJ/s)
- Kylmäntuotto q_0 106 kJ/kg

Massavirta ilmoitetaan usein myös yksikkönä kg/h, jolloin se on 6642 kg/h

Tietämällä massavirran pystymme laskemaan lämpöpumpun lauhdekuorman kaukolämpöverkkoon putki- ja pumppumitoitusta varten.

$$\dot{m} \cdot (h_4 - h_a) = 1,845 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left(453 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 298 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 286 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Kaava 3. Lauhdetehon kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 13--18.)

- Kuukakaasun entalpia h_4 453 kJ/kg
- Alijäähtyneen nesteen entalpia h_a 298 kJ/kg

Mitoitusolosuhteessa lämpöpumppu tuottaa 286 kW lämpötehoa kaukolämpöverkkoon. Tämä lauhdeteho tulee pystyä lauhduttamaan kaukolämpöverkkoon tehohuippukuukausina heinä-elokuussa.

Seuraavaksi tarkastellaan tarvittava mitoitusvirtaama kaukolämpöpumpun lauhduttimen läpi sekä mitoitusvirtaama kaukolämpöverkkoon näiden lämpötilatasojen ollessa eriävät.

Kun vettä lämmitetään kaukolämpöpumpussa, saadaan veden tilavuusvirta (l/s) kaavasta

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} \rightarrow \dot{V} = \frac{286 \text{ kJ/s}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot 10 \text{ K}} = 6,84 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Kaava 4. Lauhdevirtaaman kaava. (Hakala & Kaappola 2013. 211--212.)

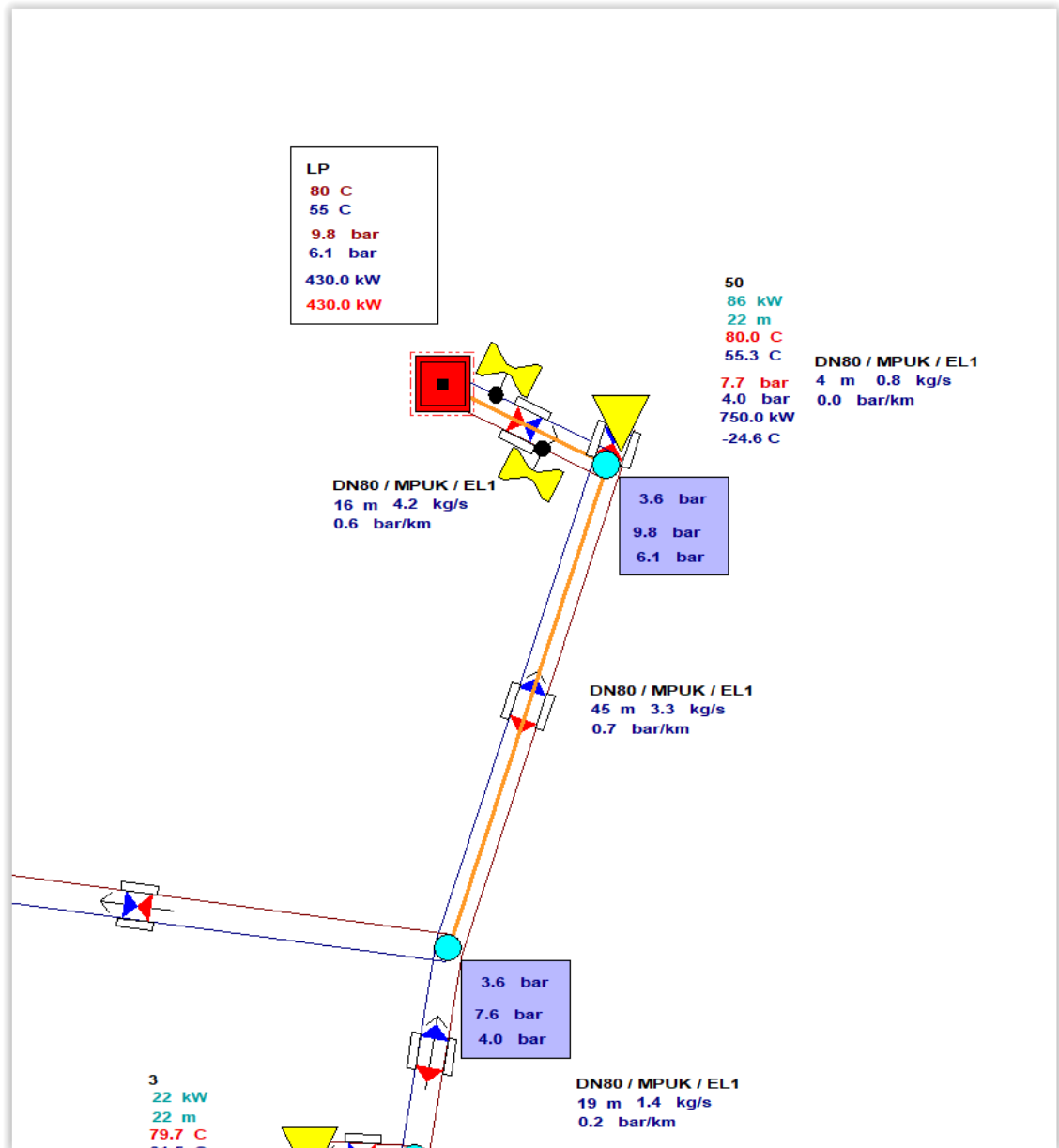
- \dot{Q} =lämpöteho 286 kJ/s
- ρ =veden tiheys 1,0 kg/dm³
- c =lauhdeveden ominaislämpö 4,18 kJ/kgK
- ΔT =lämpötilaero 10 K

Tarvittava lauhdevirtaama lämpöpumpun läpi mitoitusolosuhteessa on 6,84 l/s. Käytännössä laitevalmistajien lopullinen koneteho määrittää lopullisen tarvittavan lauhdevirtaaman. Etenkin ennalta suunniteltavissa lauhdepumpuissa on hyvä ylimitoittaa virtaama noin 10 %.

Vastaavasti lauhdevirtaama kaukolämpöverkoston saadaan kaavalla 4

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} \rightarrow \dot{V} = \frac{286 \text{ kJ/s}}{1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot 17 \text{ K}} = 4,0 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Kaukolämpöverkoston ajettava virtaama on 4,0 l/s. Mitoitukseen virtaama ylimitoitettiin 5 % mahdollisen suuremman konekoon vuoksi, mitoitusvirtaama on laskennassa 4.2 l/s. Seuraavaksi tarkastellaan rakennettavan tai olemassa olevan putkiston sekä putkistovälineiden mitoitusta. Käsin laskennan ollessa raskasta verkostot optimoidaankin pääosin suunnitteluohjelmistoja apuna käyttäen.



Kuva 12. Liedon kunnantalon kaukolämpöverkkomitoitus

Kuvassa 12 nähdään suunnitteluohjelmasta kunnantalolle ennestään tuleva DN80 kaukolämpöputki. Kuvassa on liitetty myös uusi lämpöpumppu LP. Kuvassa 12 on yksi haara vanhalle tapulille, runko liittyy Karjatien runkoverkoston n.250 m päässä kunnantalosta. Mitoitukseen voidaan arvioida tarvittava paineenkorotus mitoitusvirtaamalle 4.2 l/s sekä pumpattavalle matkalle noin 250 m edestakaista linjaa, joten yhteensä putkilinjasta on 500 metriä. Linjan käyrät ja putkiyhteet eivät aiheuta merkittävää painehäviötä. Putkiston sijaitessa verkoston latvaosassa, on kohtuullinen painehäviö 1 bar/km putkea. (Energiateollisuus ry 2006. 156.)

Putket

4.2 l/s

-Teräsputket >

Putki	Lin Dp Pa/m	v m/s
DN 150 (6")	4.6	0.22
DN 125 (5")	10.7	0.32
DN 100 (4")	30.0	0.49
DN 80 (3")	107.1	0.82
DN 65 (2 1/2")	235.2	1.13
DN 50 (2")	852.4	1.9
DN 40 (1 1/2")	2790.6	3.06

Putket

Kuva 13. IMI HyTools putkistomitoitussovellus

Putkien mitoitukseen on viimevuosina tullut taulukoiden lisäksi matkapuhelimella toimivia maksuttomia sovelluksia. Taulukkomitoitusta tarkemman ja nopeamman tuloksen antavat sovellukset ovat tehokas työkalu painehäviötarkasteluun. Kuvasta 13 näemme DN80 teräsputkeen mitoitusvirtaamalla aiheutuvan 107,1 Pa/m painehäviötä. Teräsputkien

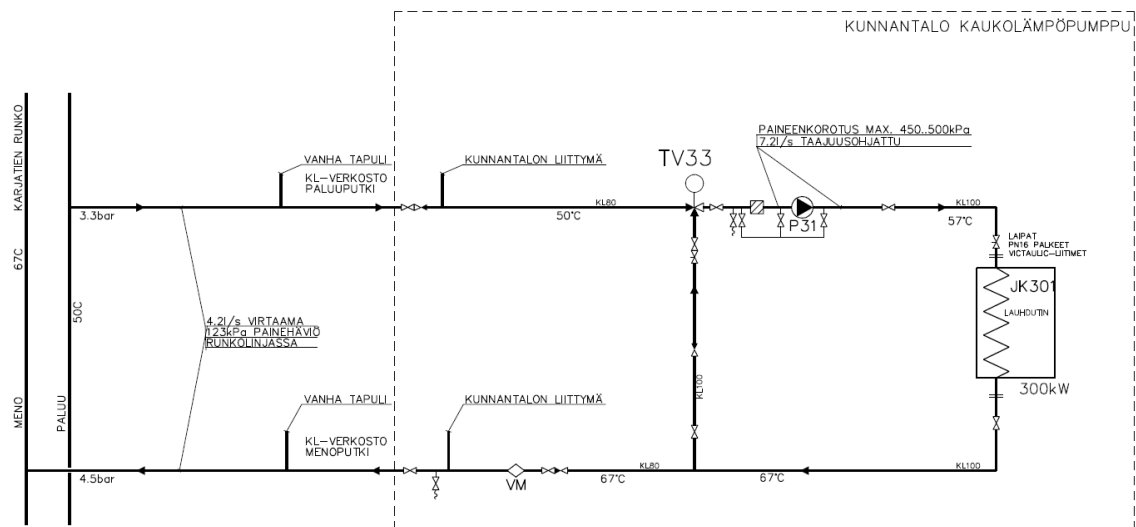
jatkuvan virtauksen tulisi olla alle 1 m/s liiallisen korroosion estämiseksi. Maksiminopeus linjassa mitoituksella 0.82 m/s. Todellinen painehäviö putkiosuudella saadaan kaavasta

$$\Delta P_{tot} = L \cdot \Delta P_m \rightarrow \Delta P = 500m \cdot 0,107 \frac{kPa}{m} = 53,5kPa$$

Kaava 5. Kokonaispainehäviön kaava

- ΔP_{tot} =putkiston kokonaispainehäviö 53,5 kPa
- ΔP_m =painehäviö per metri 0,107 kPa/m
- L=putkiston pituus 500 metriä

Putkisto osuuden painehäviö pumppumitoitukseen on 53.5 kPa. Täten kokonaispainehäviö kilometriltä putkea on 1,07 bar/km. Kunnantalon kaukolämpöliittymän mitoitus-teho on 750kW ja mitoitusvirtaama 3.3 l/s. Lämpöpumpun uusi virtaama ylittää vanhan mitoituksen ja täten kaukolämpörungon uutena virtaamana käytetään 4.2 l/s. Kunnantalon vanha DN80 kaukolämpörunko ei vaatinut muutoksia.



Kuva 14. Kaukolämpöverkon havainnekuva Karjatien runkoverkostolle saakka.

Kuvassa 14 näkyvä TV33 3-tie moottoriventtiili tulee asentaa lämpöpumpun ensiöpuolelta lähtevän veden lämpötilan säätämistä varten. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kahta 2-tieventtiiliä asetettuna säätämään käänteisesti toisiinsa nähden. Koska P31 kiertopumpun tulee voittaa koko linjaston painehäviö, tarkastellaan TV33 mitoitusta kaukolämpölinjan virtaaman 4,2 l/s mukaan. TV33 mitoituspainehäviö saadaan kaavasta:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{siirrin}} + \Delta p_{\text{putkisto}} \rightarrow \Delta p = 0,20 \text{ bar} + 0,05 \text{ bar} = 0,25 \text{ bar}$$

Kaava 6. Säätoventtiilin mitoituspaine-ero.

- $\Delta p_{\text{siirrin}}$ =lauhduttimen mitoituspainehäviö 0,2 bar.
- $\Delta p_{\text{putkisto}}$ =putkiston sekä osien painehäviö kiertopiirissä 0,05 bar.

TV33-venttiilin k_v -arvo lasketaan kaavalla:

$$k_v = \frac{qv}{\sqrt{\Delta p}} \rightarrow k_v = \frac{15,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\sqrt{0,25 \text{ bar}}} = 30,24$$

Kaava 7. Säätoventtiilin k_v -arvo (Energiateollisuus ry 2020. 16.)

- qv =lauhduttimen ensiöpuolen mitoitusvirtaama 15,12 m³/h
- Δp =venttiilin mitoituspaine-ero 0,25 bar

Koska P31:n nostokorkeutta ei haluta turhaan kasvattaa, valitaan venttiiliksi TV-33 seuraavaksi suuremman k_v -arvon venttiili. Venttiilin koko on täten $k_{vs}=40$. Venttiilin todellinen painehäviö saadaan kaavasta:

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{qv}{k_{vs}}\right)^2 \rightarrow \Delta p_{sv} = \left(\frac{15,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{40}\right)^2 = 0,14 \text{ bar}$$

Kaava 8. Venttiilin todellinen painehäviö. (Energiateollisuus ry 2020. 16.)

- Δp_{sv} =valitun venttiilin aiheuttama painehäviö
- qv =mitoitusvirtaama 15,12 m³/h

Sopimusehtojen mukainen kaukolämpöyhtiön asiakkaalle tarjottava minimipaine-ero on 60 kPa. (Energiateollisuus ry 2020. 16.) Kunnantalon lämpöpumpun miniminostokorkeus on putkiston painehäviön ja minimi paine-eron summa 122.5 kPa. Kuitenkin verkoston sijaitessa pääverkoston keskivaiheilla, paine-ero on kuvan 12 mukaan simuloitu vastamaan todellista tilannetta kaikkine putkivarusteineen. Tarvittava nostokorkeus kaukolämpöpumpulta kunnantalolta verkostoon on ääritilanteessa 360 kPa. Koska verkostoon on tulevaisuudessa tulossa vielä muutoksia, on hyvä varautua lisäpumppaustarpeeseen. Koska kyseessä on pieni, alle 1 MW laitos, löytyy markkinoilta kohtuuhintaisia integroidulla taajuusmuuttajalla olevia pumppuja. Pumpun ylimateitus ei juuri nosta

hankintakustannusta. Mitoituspaine-eroksi pumpulle valittiin 500kPa, pumpun tulee olla säädettävissä min.25 % osateholle säädön varmistamiseksi.

Tuotantolaitoksissa on oltava pumpun paine-eron säätöjärjestelmä varmistamaan verkoston paine-ero. (Energiateollisuus ry 2006. 340). Kuitenkin verkkoon liitettävä pienitehoinen kaukolämpöpumppu on hyvä ajaa tarvittavalla vakiopaine-erolla. Tällä estetään pääpumppaamon ja pienitehoisen pumpun välille syntyvää huojuntaefektiä.

4.4 Järjestelmän kilpailutus ja toteutus

Kun suunnitelmat olivat valmiit, alettiin laatia urakkatarjouspyyntöä. Asiakirjoihin kuului järjestelmän kytkentäkaavio mitoitusarvoineen (Liite 1) sekä laitteiston teknisiä vaatimuksia käsittelevä työseloste asiakirja. (Liite 2). Urakoitsijoiden tuli tutustua kohteeseen paikan päällä. Kohdekäyntien jälkeen esitettiin kysymyksiin vastattiin urakoitsijoille yhteisellä kirjeellä. Urakkamuotona oli kiinteähintainen kokonaisurakka. Urakoitsijoiden tuli sisällyttää alla olevan erittelyn mukainen kokonaisuus urakkaansa.

Uusi kaukolämpöpumppu JK-301 asennetaan kirjaston viereiseen konehuoneeseen A-101 kytkentäkuvan (Liite 1) mukaisesti asennuksineen, kylmäputkituksineen ja sähkötoiseen toimintakuntoon saatettuna. Uusimisen yhteydessä puretaan IV-konehuoneesta nykyinen jäähdytyskompressori työselostuksen mukaisesti. (Liite 2). Urakoitsija huolehtii myös vanhan vedenjäähdytinkoneikon lauhduttimen putkien purusta konehuoneen osalta.

Toimitettava tarjouksen liitteenä:

-Laittevalinta ja koneajo. Mitoituksineen sekä raja-arvoineen.

-Tilaajavastuulain (1233/2006) edellyttämät asiakirjat, joiden perusteella urakoitsija pysyy todistamaan, että on hoitanut lainmukaiset velvoitteensa.

Seuraavat yksikköhinnat:

-jäähdytysasentaja (€ / h, sis. alv 24 %)

-putkiasentaja (€ / h, sis. alv 24 %)

-sähköasentaja (€ / h, sis. alv 24 %)

-rakennustyömies (€ / h, sis. alv 24 %)

-Rakennusaikana mahdollisesti tehtävät lisä- ja muutostyöt sekä urakasta pois jäävät suoritteet hinnoitellaan noudattaen yksikköhintoja. Yksikköhintojen tulee vastata ko. suoritusta hankkeen piirustusten mukaisesti tehtynä.

Toteutusaikaa urakalle annettiin 1kk, työn olisi oltava valmis heinäkuun 2020 lopulla. Heinäkuussa kunnantalo on tyhjimillään kesälomien johdosta. Tämä aiheuttaisi vain pientä haittaa jäädytyskaton vuoksi. Urakoitsija sai ehdottaa myös vaihtoehtoista urakointiaikaa.

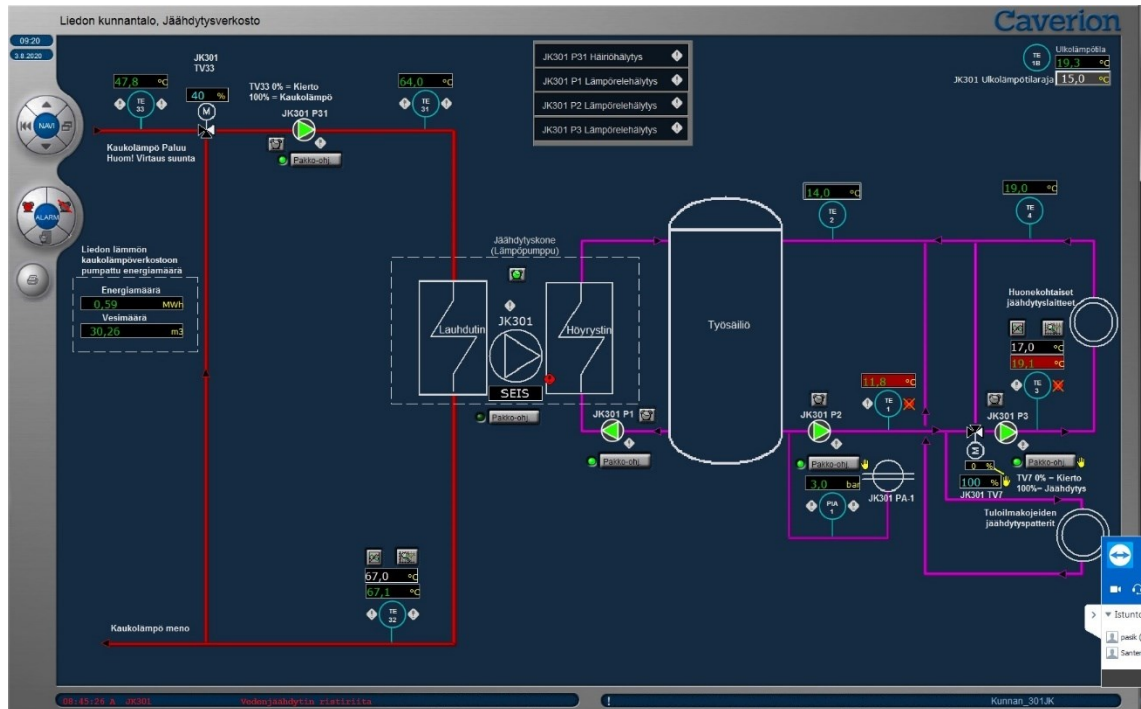
Koska työsuorite sisälsi myös kaukolämpöputkistoon kohdistuvia töitä, nämä työt eriteltiin urakasta tilaajan erillishankinnaksi. Myös tarvittavat automaatiopisteet sekä komponentit olivat erillishankintoja kiinteistön ollessa Caverion:in Pyramid taloautomaatiojärjestelmässä. Näin järjestelmä saatiin yhteensopivaksi jo olemassa oleviin järjestelmiin.

4.5 Urakoitsija ja valittu järjestelmä

Julkisen tarjouskilpailun päätyttyä urakoitsijaksi valikoitui turkulainen, energiatehokkuusratkaisuihin erikoistunut Finess Energy Oy. Urakoitsijan tarjoama järjestelmä hyväksyttiin suunnitelmien mukaiseksi tilaajan ja suunnittelijan toimesta. Valitun järjestelmän mitoitussajo löytyy liitteenä. (Liite 3). Toteutus hoitui aikataulussa ja urakka vastaanotettiin valmistuneeksi 31.heinäkuuta 2020. Järjestelmän toimintaa voi katsoa liitteenä olevasta videosta. (Liite 5).

4.6 Järjestelmänäkymä taloautomaatiosta

Järjestelmä liitettiin Caverion Pyramid taloautomaatiojärjestelmään, josta käsin suoritetaan laitteen käyttö kausiohjelmalla sekä ulkolämpötilaan perustuen. Tietokonepohjaisesta taloautomaatiojärjestelmästä on aseteltavissa toimilaitteiden käyttöparametrit, halutut lämpötilat sekä luettavissa energiamittauksen lukuarvot.



Kuva 15. Valvomonäkymä järjestelmästä kunnantalolla

Nykyaikainen valvomojärjestelmä mahdollistaa järjestelmän toiminnan seuraamisen niin huoltoliikkeelle, automaatiourakoitsijalle sekä loppukäyttäjälle. Lisäksi järjestelmään tallentuu lämpötilatrendit eri toimintapisteissä. Näitä voidaan käyttää järjestelmän säätämisen tueksi, sekä mahdollisissa järjestelmän vikatilanteissa vianhaun apuna.

4.7 Järjestelmän mittaukset

Jotta energiamyynti olisi mahdollista Liedon kunnan ja Liedon lämmön välillä, asennettiin järjestelmän kaukolämpölinjaan Liedon lämmön toimittama energiamittari. Mittari välittää tiedon taloautomaatiojärjestelmään pulssitietona sekä Liedon lämmön energialaskentaan. Lämpöpumpun sähkönsyöttö on myös erillisellä sähkömittarilla varustettu, jolloin laitteen toteutunut sähkönkulutus ja hyötysuhde on mahdollista laskea.

4.8 Liedon lämmön verkoston optimointi

Uuden lämpöpumppulaitteiston asennuksella on vaikutus kaukolämpöverkon toimintaan ja lämpötilatasoihin. Nykyaikaisilla suunnitteluohjelmilla voidaan simuloida verkoston

toimintaa lisäämällä pumppuja sekä lämmönlähteitä verkostoon. Todelliset painesuhteet voivat kuitenkin poiketa simuloinnista.

Kunnantalon kaukolämpöpumppu huippukuormallaan laskee olennaisesti Taatilan voimalan käyttöastetta. Kesäkuukausina Taatilan voimalan teho on noin 1.3MW. Kaukolämpölämpöpumpun käydessä huippukuormallaan se laskee suoraan Taatilan hakelaitokselta tarvittavaa tehoa n.0,3 MW verran. Tämä ei kuitenkaan vaaranna hakelaitoksen toimintaa sen toimiessa vielä 0,9 MW osakuormalla.

Tulevaisuudessa useiden vastaavanlaisten lämpöpumppujen asennus kaukolämpöverkoston voisi pudottaa Taatilan hakelaitoksen tehon liian matalaksi. Mikäli verkostoon liitetään lisää ulkopuolisia kaukolämmöntuottajia, tulee ne suunnitella tapauskohtaisesti. Laajeneva kaukolämpöverkosto siirtoverkkoineen mahdollistaa kuitenkin tehon siirtoa Liedon keskustasta Avantin teollisuusalueelle. Lisäksi on mahdollista lisätä verkoston vesimassaa esimerkiksi säiliöllä tuotantohuippuja tasaamaan, sekä puskuroimaan energiaa verkostoon.



Kuva 16. Osa Liedon lämmön linjakartasta

Kunnantalo on ympäröitynä punaisella kuvassa 16. Kuten linjakartasta voi todeta, lämpöpumppu sijaitsee verkon latvaosassa. Verkostosuunnittelussa lämpöpumppu toimii lämpövoimalana. Tulevaisuudessa verkosto yhtyy kirkon kautta Hyvättyläntien haaraan muodostaen rengasverkon. Käyttötilanteessa kunnantalon kautta syötettävä energia päätyy pääosin keskustien kerrostaloihin. Tämä näkyy kaukolämmön menoveden lämpötilatason lievänä laskuna jäähdytyskoneen ollessa käytössä, Taatilan voimalan syöttäessä yli 70°C lämpötilatasoa. Liedossa nähdään mahdolliseksi uusien pientuottajien liitos verkostoon.

5 ENERGIANTUOTANTO

5.1 Energian tuotto-odotus

Saneerauskohteessa jäähdytysenergian kulutus pystytään monesti arvioimaan vanhan kulutuksen pohjalta. Tämä vaatii jäähdytyskoneen oman sähkönenergian kulutuksen mittaroinnin. Todelliseen kulutukseen pohjautuen voidaan myös arvioida lauhde-energian määrä, joka saadaan syötettyä kaukolämpöverkkoon.

Mikäli historiatietoja ei ole saatavilla, on jäähdytys- ja lauhde energian laskenta käsin vaikeampaa, jäähdytystarveluvun puuttuessa määräyksistä Suomessa. Laskennallisesti Suomessa jäähdytystarveluku olisi erittäin pieni, vain 190 astepäivää vuoden 2012 Helsinki-Vantaan testisäällä. Tämä on vain 5 % lämmitystarveluvusta, joka oli samana vuonna 3793 astepäivää. Todellinen jäähdytystarve on nykyaikaisissa rakennuksissa huomattavasti suurempi. Tämä johtuen rakennukseen kohdistuvista lämpökuormista kuten auringon säteilystä, sähkölaitteista, ihmisistä sekä valaistuksesta. Kuitenkin nykyaikaisilla simulointiohjelmilla voidaan jäähdytystarvetta simuloida todenmukaisemmin. (Energiateollisuus ry. 2015). Jäähdytystarve voidaan arvioida melko tarkasti vastaavien rakennusten jäähdytysenergian kulutuksen mukaan.

5.1.1 Saavutettu kuukausituotto

Laitteisto käyttöön otettiin 31.7.2021. Mittausdata on saatavilla vain vuoden 2021 heinäkuusta eteenpäin.

Energiantuotto vuoden 2021 heinä-joulukuun mittausjaksolta on 55,4 MWh. Energianhinnalla 58 €/MWh tämä tarkoittaa 3213 € tuottoa tältä ajalta. Mittausjakson ollessa lyhyt, tulee tuottoa tarkastella kokonaisvuosituoton saamiseksi vähintään yksi täysi jäähdytyskausi.

5.2 Hankkeen kannattavuuslaskenta

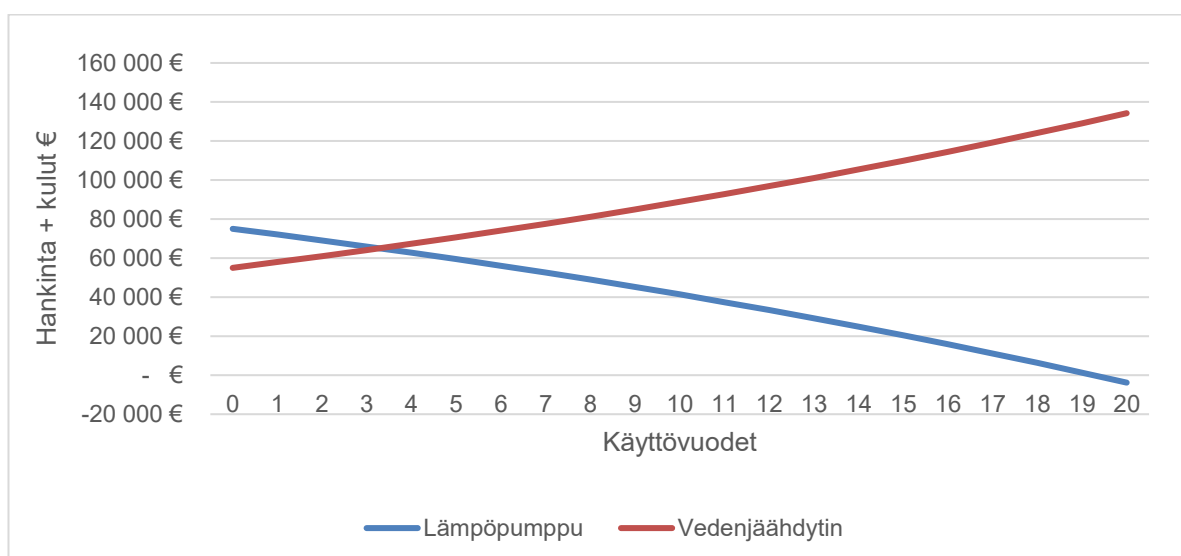
Kaukolämpö-lämpöpumppu hankkeen kannattavuutta voidaan mitata vertaamalla investointia ja elinkaarikustannusta perinteiseen vedenjäähdytysjärjestelmään. Tarkastelussa tulee ottaa huomioon hankintakustannus sekä elinkaarikustannukset.

Energia ²⁾	Hinta €/MWh ¹⁾	Vuosimuutos -%
Kevyt polttoöljy (alv 24 %)	73,90	-21,5
Kotitaloussähkö, L2 (alv 24 %)	137,40	-1,7
Puupelletti (alv 24 %) ³⁾	.	.
Kaukolämpö, rivitalo / pienkerrostalo (alv 24 %) ⁴⁾	82,51	0,8

Kuva 17. Energian keskihinnat kesäkuu 2020. (Tilastokeskus 2021.)

Kuvasta 17 näemme tilastokeskuksen keskimääräisiä energianhintoja kesäkuussa 2020. Mittaushetki on Liedon kunnantalon kaukolämpöpumpun käynnistystä lähin kvartaali. Maailmantilanteen takia vuonna 2020 sähkön ja öljynhinta oli laskussa. Täten energian hinnannousuindeksiä tulee tarkastella pidemmältä aikaväliltä.

Taulukko 4. Eri laitteistojen elinkaarikustannusvertailu Liedon kunnantalo



Taulukon 4 lähtöarvot.

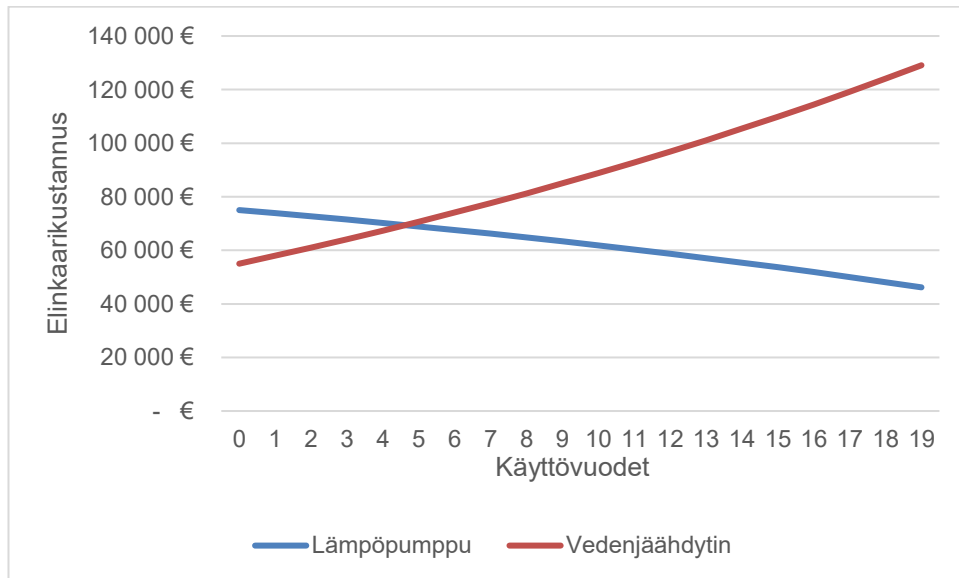
- Sähkön hinta siirtoineen 110 €/MWh alv. 0 % (Tilastokeskus. 2021.)
- Kaukolämpöön myytävän energian hinta 58 €/MWh alv.0 %. (A.Ahtiainen. 2021.)
- Jäähdytystarve 100 MWh/vuosi
- Kaukolämpöpumpun hyötysuhde EER: 2,05
- Vedenjäähdyttimen hyötysuhde EER: 4,2
- Vedenjäähdytyslaitteiston hankintahinta 55 000 €
- Kaukolämpöpumpun hankintahinta 75 000 €
- Energian hinnan vuosinousu 3 %
- Lauhdepumpun energiankulutus 3 MWh

Kaukolämpöpumpun suurempi investointikustannus muuttuu voitolliseksi perinteiseen vedenjäähdytininvestointiin jo kolmantena käyttövuonna. Energian hinnan vuotuinen indeksikorotus korostaa investointipääoman kuoletusta kiihtyvästi koko elinkaaren ajan. Yhteenvetona 20 vuoden aikajaksolla kaukolämpölämpöpumppu tuottaa energian myynnillä noin 79000 €. Tästä on vähennetty sen käyttämän sähköenergian hinta. Tämä tarkoittaa, että laite kuolettaa 20 vuoden aikajaksolla täysin oman investointikulunsa. Investointi tuottaa siis alkupääomalleen keskimäärin yli 5 % vuosituottoa. Vastaavasti jos kohteeseen olisi laitettu perinteinen vedenjäähdytin, olisi se 20 vuoden tarkastelujaksolla energiankulutus sekä investointi mukaan lukien tullut maksamaan 135 000 € alv.0 %.

5.3 Liedon lämmön energianmyynti

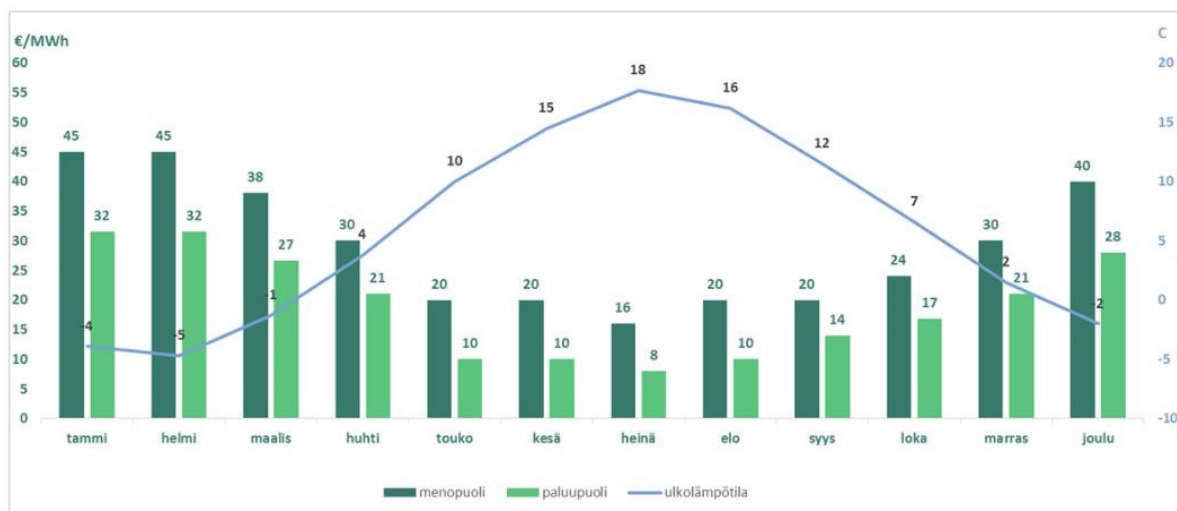
Liedon kunnan ollessa Liedon lämmön pääomistaja kunnantalon lauhde-energia on käytännössä suoraan pois kunnan primäärienergiakuluista. Tilanteessa, jossa lämmönmyyjä olisi ulkopuolinen taho, esimerkiksi jäähdytetty kerrostalokiinteistö, tulisi energian myyntihinnastoa tarkastella kaukolämpöyhtiön sekä ulkopuolisen energiantuottajan molempien kannalta edulliseksi. Esimerkkinä energian myyntihinnan ollessa 46 €/MWh alv.0 % jää energiayhtiölle noin 20 % kate myyntihinnan ollessa 58 €/MWh. Katteella energiayhtiön tulee kattaa verkoston huoltokulut mutta ei lämpöpumppulaitteistosta aiheutuvia investointi ja huoltokuluja, jotka hoitaa ulkopuolinen energianmyyjä. Jos verkostoon liittyy useita vastaavia lämpöpumppulaitteistoja, tulee verkoston päävoimat optimoida ja suunnitella toimimaan nopeasti vaihtuvissa kuormitusolosuhteissa.

Taulukko 5. Elinkaarikustannus ulkopuoliselle energianmyyjälle.



Lähtöarvot taulukossa 5 ovat vastaavat kuin taulukossa 4, mutta lauhde-energian hinta on pudotettu 46 €/MWh alv.0 %. Täten mahdollistetaan kannattava toiminta niin lämpöyhtiön kuin ulkopuolisen lämmönmyyjän kannalta. Investointi muuttuu voitolliseksi neljäntenä käyttövuonna verrattuna perinteiseen vedenjäähdyttimen ilman lämmöntalteenottoa kesäaikana.

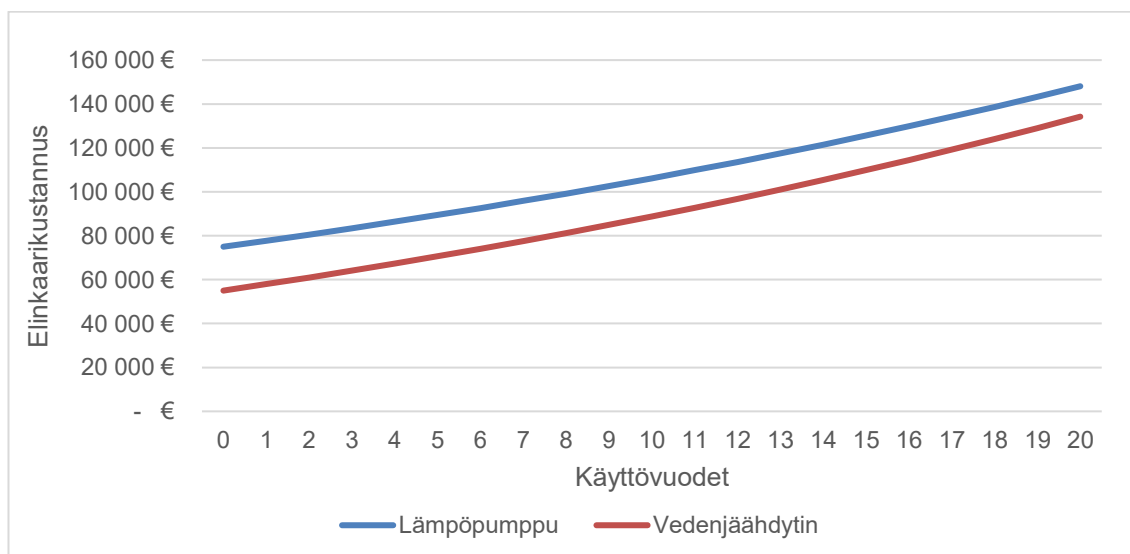
Suurilla lämpöyhtiöillä, joilla on tarjota kaksisuuntainen kaukolämpöliittymä sekä energian ostohinnasto, on energian ostohinta kesäaikana huomattavasti alempi, kuin taulukossa 5 käytetty 46 €/MWh.



Kuva 18. Fortumin energian ostohinnat kuukausittain Espoossa, Kauniaisissa ja Kirkkonummella. (Fortum 2021.)

Kuvassa 18 esitetty Fortumin tarjoama ostohinnasto kaksisuuntaisessa kaukolämpömyynissä. Hinnat alv.0 %. Hinnasto perustuu tuotettavaan kaukolämmön lämpötilaan sekä ulkolämpötilaan. Mikäli lämmön pystyy syöttämään kesäkuukausina kaukolämmön menoputkeen, on hintavaikutus huomattava, jopa 100 % korkeampi verrattuna lämmön syötöllä kaukolämmön paluuputkeen. Tuotantoteho on myös rajattu riippuen alueesta. Pienet kaukolämpömyyjät voivat mahdollisesti tarjota kilpailukykyisempää hintaa verrattuna suuriin energiayhtiöihin. Matala paluuputken lämpötilataso taas mahdollistaa perinteisen liuoslauhdutteen vedenjäähdyttimen käytön, jolloin hyötysuhde paranee, investointikustannus pienenee ja erillisen lauhduttimen tarve poistuu.

Taulukko 6. Elinkaarikustannus Fortumin energian ostohinnoilla. (Fortum 2021.)



Taulukossa 6 lähtöarvot ovat samat kuin taulukossa 4 ja 5, mutta energian ostohinta on 20 €/MWh. Investointi on tällä hintatasolla kannattamaton. Energian myynti ei kompensoi yksiasteisella kylmäprosessilla toimivan lämpöpumpun matalaa hyötysuhdetta verrattuna perinteiseen, paremmalla hyötysuhteella toimivaan vedenjäähdytimeen. Kaukolämpölauhdutus kaukolämmön menoveteen on kannattava vielä noin 35 €/MWh energian myyntihinnalla. Myytävän energian hyvityshinnasta tulee keskustella lämpöyhtiön kanssa ennen hankkeeseen ryhtymistä kannattavuuden selvittämiseksi.

6 POHDINTA

Tässä tutkielmassa on osoitettu kaukolämpölauhdutteen vedenjäähdyttimen olevan kannattava sekä energiataloudellinen hankinta tietyissä kohteissa. Jotta kaukolämpölämpöpumppuhankinta voidaan tehdä, vaatii se suunnittelutyötä sekä vuorovaikutusta hankkeeseen ryhtyvän sekä lämpölaitoksen välillä. Liedon kunnan toimeksiannosta työssä on todettu laskennallisesti järjestelmän hankinnan olevan kannattava järjestelmän hankkijan sekä lämpölaitoksen näkökulmasta. Hankinta on järkevä taloudellisesti sekä ympäristönäkökohdista verrattuna perinteiseen lämmöntalteenotottomaan vedenjäähdytysjärjestelmään, mikäli energian myyntihinta on luvussa 5.3 esitetyllä tasolla.

Teknisten ratkaisujen mahdollistaessa järjestelmien toteutuksen tulee taloudellinen kannattavuus punnita. Investoinnin jäädessä laskennallisesti alle viiden vuoden takaisinmaksuajalla kannattavaksi voidaan se todeta järkeväksi investoinniksi. Liedon kunnantalolla olevat energiamittaukset todentavat tuloksia sekä lämpöpumpun toteutunutta hyötysuhdetta. Lisäksi urakan toteutuneita investointikustannuksia voidaan verrata perinteisen järjestelmän toteutuskustannusarvioihin, jolloin saadaan luotettava kuva hankkeen kannattavuudesta.

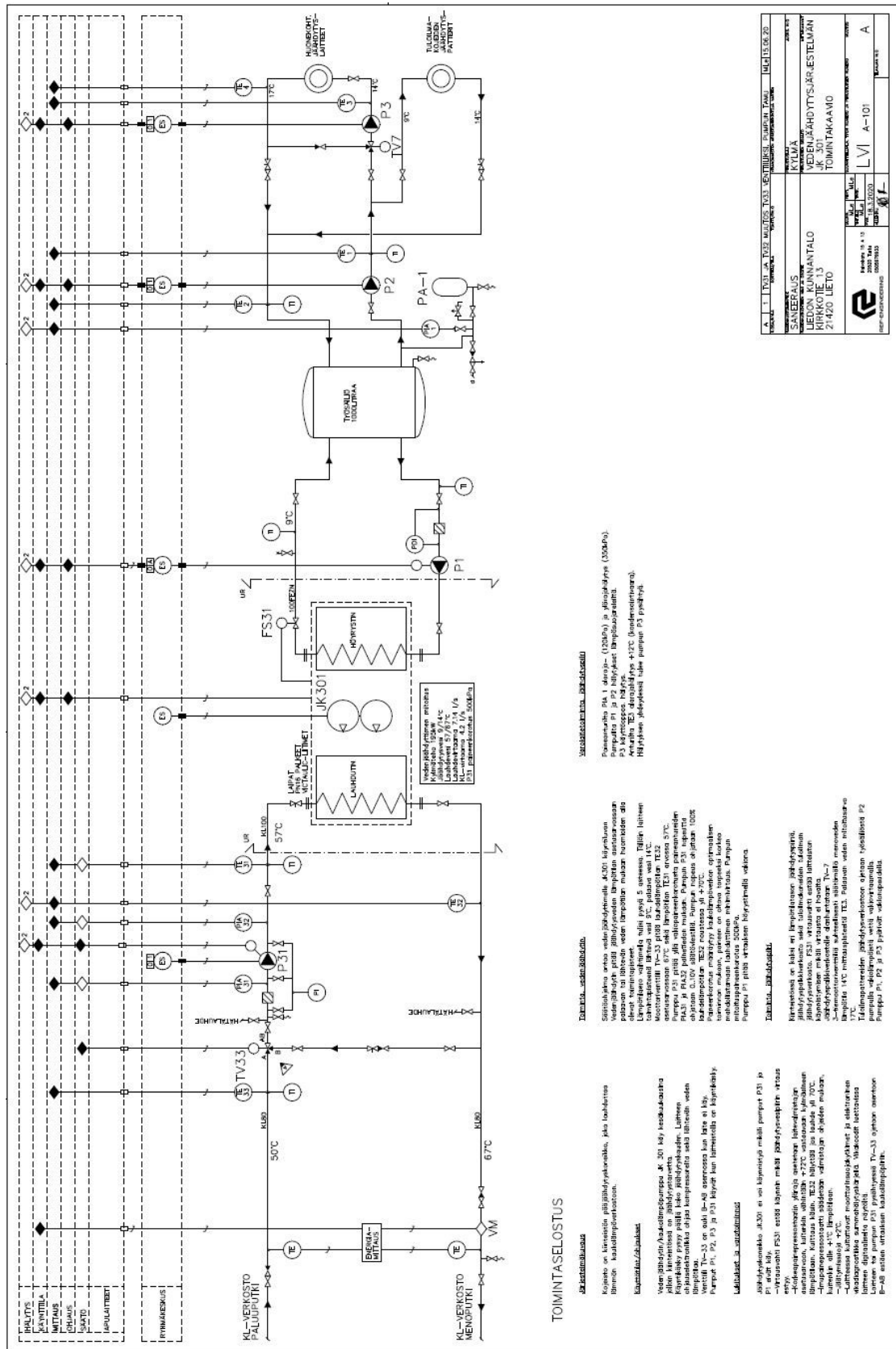
Liedon kunnassa on paljon potentiaalisia kiinteistökohteita, joissa vastaavaa tekniikkaa voitaisiin hyödyntää. Näiden kohteiden tunnistaminen sekä motivointi hankesuunnittelun käynnistämiseen mahdollistaisi laajalle hajautetun kaukolämpötuotannon syntymisen. Lisäksi kiinteistökohteiden asumismukavuus ja arvo nousisi jäähdytyksen myötä. Etenkin lämpenevät kesät luovat suuren kysynnän jäähdytetyille asunnoille sekä toimistotiloille.

Kunnan lämpöyhtiöllä tulisi olla selkeä linja sekä hinnasto kaksisuuntaisen lämmönmyynnin mahdollistamiseksi. Tämä helpottaisi taloyhtiöitä sekä yrityksiä tekemään hankesuunnitelmia ja investointeja energiatehokkuuden parantamiseksi.

LÄHTEET

- Energiateollisuus ry 2020. Kaukolämpötilasto 2019. Helsinki
- Hakala, P & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu, Helsinki: Opetushallitus.
- Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka, Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry
- Energiateollisuus ry 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki
- Suomen Kalenterit Oy 2019. LVI kalenteri. Helsinki
- Energiateollisuus ry 2016, Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Valor Partners Oy
- Arkkitehtitoimisto Sipinen Oy, (verkkajulkaisu), (<http://www.arksipinen.fi/fi/tyot/12-projektit/82-1993-liedon-kunnantalo>) Viitattu: 23.4.2021
- Aittomäki, A. 1996. Kylmäteknikka. Jyväskylä: Kylmätuki KY Oy.
- Ahtiainen, A. Toimitusjohtaja, Liedon lämpö. Lieto. Haastattelu 30.4.2021.
- Energiateollisuus ry 2020, Rakennusten kaukolämmitys K1. Helsinki
- Tukes, (verkkajulkaisu), (<https://tukes.fi/-/uusi-f-kaasuasetus-tuo-rajoituksia-kylmaaineiden-kaytto-1#25dcfe33>) Viitattu: 7.5.2021
- Vettenranta J. 2017 SKLL kylmäteknikan koulutuspäivät, luentomateriaali.
- Hakala, P. 2019. Combicool talvipäivät luentomateriaali.
- AREA, 2017. Johdanto kylmälaitestandardiin EN 378.
- Energiateollisuus ry. 2015. Raportti: Jäähdytysliiketoiminnan markkinat. Espoo
- Tilastokeskus. Energian hinnat (verkkajulkaisu). http://www.stat.fi/til/ehi/2020/02/ehi_2020_02_2020-09-10_tau_003_fi.html ISSN=1799-7984. 2. Vuosineljännes 2020, Liitetaulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja kesäkuussa 2020. Helsinki. Viitattu: 13.5.2021.
- Fortum. (Verkkajulkaisu) Tietoa lämmön ostohinnoista <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisueille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo/avoin-kaukolampo-ostohinnat> Viitattu 19.5.2021

A-101 kytkentäkaavio



Työseloste Liedon kunnantalo. JK301 saneeraustyö

KU=Kylmäurakka, pääurakoitsija. Mainitut työt ovat KU, ellei erikseen mainita

AU=Automaatiourakka, tilaajan erillishankinta

KL=Kaukolämpöurakka, tilaajan erillishankinta

Urakan sisältö

Vanhan sisäasenteisen Trane vedenjäähdyttimen purku. Vanha kylmäaine R22 talteenotetaan ja kierrätetään. Laite ei mahdu kokonaisena tilasta ulos, joten se tulee purkaa teknisessä tilassa. Vanhan laitteen jäähdytysvesiputkisto varusteineen hyödynnetään. Myös vanha sähkönsyöttö hyödynnetään (Kaapecti AMCMK 3x120+70/41). Osa vanhoista ohjauskaapeleista hyödynnetään. Automaatiokaapelointi kuuluu KU. Automaation rauta, kytkentä ja viritys kuuluu AU.

Vanha lauhdeputkisto tyhjennetään ja tulpataan konehuoneeseen sulkujen taakse. Häätälahdutusta varten kaukolämpöpuolelle jätetään varaukset vanhan lauhduttimen mahdollista käyttöä varten.

Uusi liuosjäähdytin tuodaan kokonaisena oviaukosta. Ovi poistetaan karmeineen tarvittaessa. Urakoitsija vastaa laitteen mahtumisesta konehuoneeseen ja tästä mahdollisesti aiheutuvista lisätöistä. Kirjaston ja aulan tiloissa lattia suojattava esim. vanerilla laitteen haalauksen ajaksi. Laite asennetaan vanhan tilalle niin, että huoltotilat laitteen ympärillä säilyvät hyvinä. Jäähdytysvesiverkosto liitetään vanhaan verkostoon kytkentäkaavion mukaisesti, putkitukset DN100 FEZN putkilla sekä puristusosilla. Putkisto eristetään 19 mm solukumieristeellä diffuusiotiiviisti, kannakointi 19 mm eristeellä olevilla tehdasvalmiilla pitimillä. Sähkönsyöttö kytketään tarvittavine muutoksineen uuteen laitteeseen.

Uuden tehdasvalmisteisen, sisäasenteisen liuosjäähdyttimen mitoitusarvoja:

- Lauhdelämpötilat 57/67C, lauhdutus kaukolämpöverkkoon.
- Jäähdytysverkon lämpötilat 9/14C.
- Jäähdytysteho 195kW.
- Lauhdepiirin painemitoitus PN16. Rakennusten kaukolämmitys K1/2013-mukaiset liitostavat.

- Kylmäaineena A1 luokan aine. GWP<1500.
- Digitaaliset säätimet.
- Painemittarit.
- Elektroniset paisuntaventtiilit.
- Vähintään 4 tehoporrasta tai taajuusmuuttaja.
- Laitteen näytöltä luettava vikaloki sekä summahälytys kärkitietona.
- Käyntitieto sekä käyntitieto

Laitteen lauhdutuspiirin painemitoitus vesipuolella oltava PN16. Kaukolämpöpiirin kytkentä valmiille laippa/victaulic lähdölle kuuluu KL. Kaukolämpöputkiston rakentaminen ja hankinta kokonaisuudessaan KL. Kaukolämpötoimilaitteiden ja venttiileiden hankinta AU. KytKentäpisteet VAK:kiin sekä ohjelma AU. Kaapelointi sekä syötöt KU.

Takuuajan lakisääteiset huollot kuuluvat urakkaan. Takuu aika 2 vuotta.

Urakasta toimitettavat asiakirjat pääurakoitsijan toimesta.

- Käyttöönottomittaus.
- Varmennustarkastuspöytäkirja.
- Konekortti.
- Kylmäaineen kierrätystodistus.
- Kylmälaitteen huoltokirja ja huolto ohjelma. Huoltokirjaan merkitään toimintapisteet ja käyntiarvot käyttöönottohetkellä.

Kunnantalon kaukolämpö-lämpöpumppumitoitus

FINESSHEAT
LÄMPÖPUMPPU
MITOITUS

Sivu 1/2

Tekniset tiedot: FINESS HEAT WDK 2604 LN			
TARJOUSTIEDOT			
JÄÄHDYTYKSEN TIEDOT			
SISÄÄN/ULOS nesteen lämpötila	°C	14 / 9	
Virtaama	dm ³ /h	9,3	
Piirin painehäviö	kPa	13,8	
Jäähdytysteho	kW	195,3	
Kokonaisottoteho	kW	95,3	
EER	-	2,05	
LÄMMITYKSEN TIEDOT			
SISÄÄN/ULOS veden lämpötila	°C	59 / 67	
Virtaama	dm ³ /s	8,9	
Piirin painehäviö	kPa	12,9	
Lämmitysteho	kW	293,8	
Kokonaisottoteho	kW	95,3	
COP	-	3,08	
KOMPRESSORIT - Scroll			
Lukumäärä	n°	4	
Piirien määrä	n°	2	
Tehotasot	n°	4	
KYLMÄÄINE			
Kylmäaineen tyyppi	-	R134a	
Kylmäainetäyttö	kg	33	
SÄHKÖ			
Sähköliitäntä	V/f/Hz	400/3/50	
Käyttövirta / Suurin käyttövirta	A	163 / 252	
Suurin käynnistysvirta	A	499	
ÄÄNITASO			
Äänitaso (1)	dB(A)	60,3	
Etäisyys	m	10	
MITAT JA PAINO			
Pituus	mm	2170	
Leveys	mm	800	
Korkeus	mm	1900	
kuljetuspaino	kg	1430	
Toimintapaino	kg	0	

(1) ISO EN 3744 mukaisesti laskettu äänitaso




FINESS Finess Energy Oy
 Energy Saving Solutions puh.020 7569 940
 info@finess.fi www.finess.fi

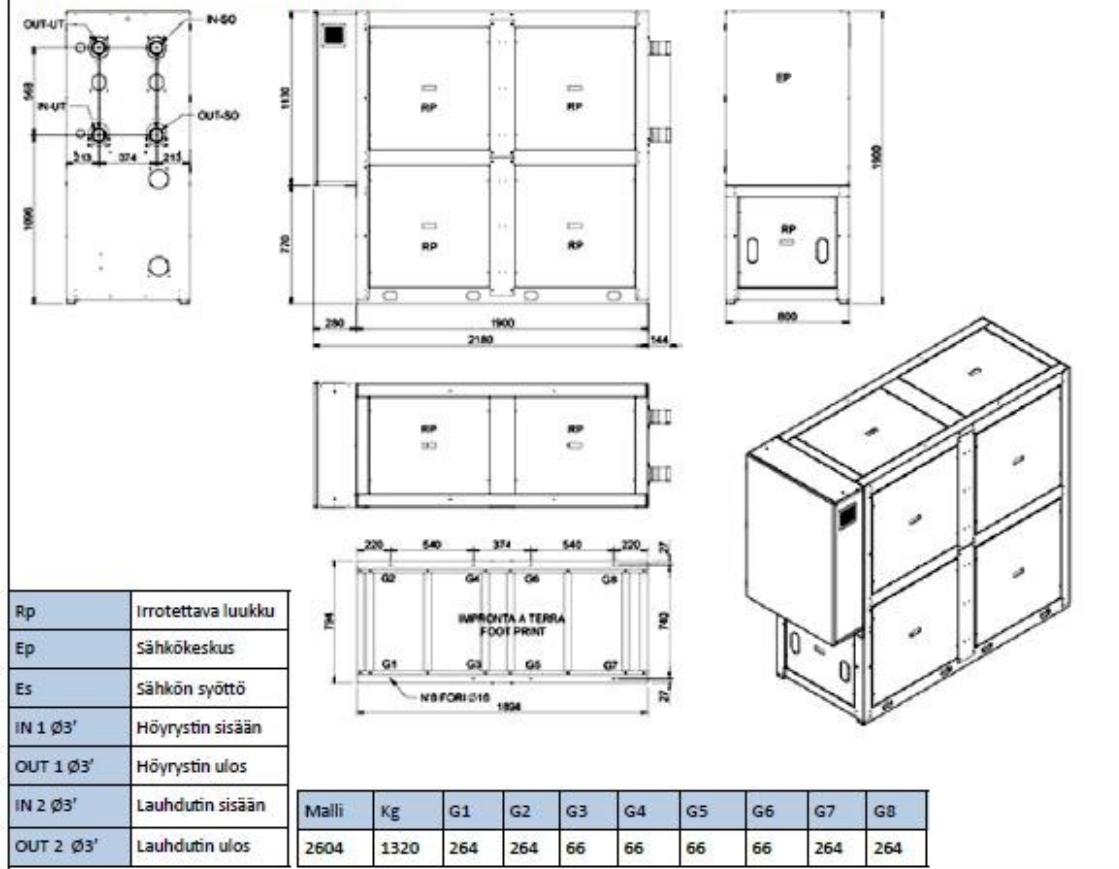
FINESSEAT

LÄMPÖPUMPPU

MITOITUS

Sivu 2/2

Mittapiirros: FINESSEAT WDK 2604 LN



Järjestelmän esittelyvideo

Kesto: 13min 51sek

Videossa on esitelty tämän opinnäytetyön tekijän toimesta Liedon kunnantalon lämmönjakohuoneeseen asennettu kaukolämpölauhdutteinen vedenjäähdytin.

Videomateriaalin on kuvannut Erkki Tuomaala.

Käytetyt ohjelmistot: Adobe Premiere

Video on katsottavissa Youtubessa linkistä: https://youtu.be/onx_g4dlnx0