



Martti Pennanen

Uusiutuvan energian kannattavuus, hankkeen kilpailuttaminen sekä tek- nisen laitekokonaisuuden ja huippu- tehontarpeen analysointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

16.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Martti Pennanen
Otsikko:	Uusiutuvan energian kannattavuus, hankkeen kilpailuttaminen sekä lämpimän käyttöveden kapasiteetin teoreettinen tarkastelu
Sivumäärä:	65 sivua + 2 liitettä
Aika:	22.10.2022
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan YAMK
Ammatillinen pääaine:	LVI Tekniikka
Ohjaajat:	Esko Kaappola, Product Manager, tuntiopettaja Kim Lindholm, kiinteistöjohtaja

Opinnäytetyön tarkoituksena oli varmistaa maalämpölaitteiston soveltuvuus sekä oikea laitekokonaisuus varaajasäiliöineen valittuun Hoasin kiinteistöön erinäisten laskelmien ja tarjouskilpailun kautta.

Työ toteutettiin selvittämällä kiinteistön lämmitysenergian kulutusta ja sen jakaamaa eri lämmönluovutustavoilla. Kohteen kulutushistoriaa tutkittiin tuntitasolla viiden vuoden ajalta.

Laskentavaiheessa tarkasteltiin kiinteistön tehontarpeita eri laskentamenetelmin. Saatuja tietoja hyödynnettiin kulutustietoihin ja tätä kautta päädyttiin optimaaliseen tuotantoesitykseen Hoasin edustajille.

Työssä kilpailutettiin maalämpölaitteiston hankinta. Kilpailutukseen otettiin kaikki suuret maalämmön laitetoimittajat ja urakoitsijat.

Kilpailutuksen aikana suoritettiin urakkaneuvotteluita. Urakkasopimusvaiheeseen edettiin yhden urakoitsijan kanssa.

Maalämpöurakan toteutuksessa edettiin opinnäytetyön aikana aina käyttöönottovaiheeseen asti. Kiinteistön energiakaivot on asennettu. Teknisen tilan maalämpölaitteistot on pääosin asennettu. Maalämpölaitteisto otetaan käyttöön joulukuussa 2022. Tämän jälkeen kiinteistö kuluttaa selkeästi vähemmän energiaa.

Työtä hyödynnetään Hoasin kiinteistöjen energiateknisissä hankkeissa.

Avainsanat: Maalämpö, tehontarve, lämmin käyttövesi, kilpailuttaminen

Abstract

Author: Martti Pennanen
Title: Renewable Energy - Profitability, Project Bidding and Theoretical Review of Domestic Hot Water Capacity
Number of Pages: 65 pages + 2 appendices
Date: 22.10.2022

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Technology
Supervisors: Esko Kaappola, Product Manager, Lecturer
Kim Lindholm, Facility Director

The purpose of the thesis was to ensure the suitability of geothermal equipment for a building, as well as to establish a suitable set of equipment with storage tanks for it. This was to be done with various calculations and a tender competition.

The final year project first established the heating energy consumption of the building. Then, the distribution of the heating energy with different heat release methods was studied. The consumption history of the building was studied on an hourly basis over a period of five years.

The power needs of the building were established with various calculation methods, and the information was used for consumption data and to create an optimal production presentation for representatives of the owner. Tenders were received from all major geothermic equipment suppliers and contractors for the geothermal equipment, contract negotiations were conducted and a contractor chosen.

The project covered the implementation of the geothermal contract to the commissioning phase, and the system will be ready for use in December 2022. After this, the building will consume less energy. The thesis is further utilized in the energy engineering projects of the commissioning company.

Keywords: geothermal energy, power demand, domestic hot water, tendering

Sisällys

Lyhenteet	1
1 Johdanto	3
2 Lähtötiedot kohteesta	5
3 Lähtötiedot	6
3.1 Rakennustekniset ja -tekniset tiedot	7
3.2 Kiinteistön talotekniset mitoitus tiedot	11
3.3 Maalämpölaitteiston kannattavuus	12
3.4 EED-kaivomitoitustyökalun käyttäminen	15
3.5 Tavoitteellinen laskenta, teoriaosuus	18
3.6 Kiinteistön R10 tehontarve ja mitoittaminen	20
3.7 Motiva Oy:n laskentaohjeet	23
3.8 Ecoreal Oy:n energiakannattavuusselvitys	23
3.9 Projektin (hankkeen) käynnistäminen	23
4 Kilpailuttaminen	26
4.1 Kohdenäyttö	27
4.2 Tarkennuksia laskentaan sekä tarjouksenjättöajan pidennys	28
4.3 Vaihtoehtoiset järjestelmät, hybridit, kaukolämpövaihtoehdosta luopuminen	28
4.4 Teholaskelman tarkennukset tarjouspyynnön aikana	29
4.5 Tarjousten vastaanotto	31
4.6 Tarjouskoonti sekä tarjousten analysointi	32
4.7 Mitoitusesitykset, tarjoajien eri vaihtoehdot	33
4.8 Yhteenveto saaduista tarjouksista sekä näiden käsittely	35
4.9 Tarjousneuvottelut	35
4.10 Tarkennuspyynnöt, tehomitoituksen tarkastelut	36
4.11 Urakan laajuus ja mahdolliset erillisurakoiden käsittely	39
4.12 Kaksi tarjoajaa jatkaa, saadut tarkennukset ja tarjoukset	41
4.13 Kilpailutuksen tulos	42
5 Kustannusennusteen tarkentuminen	43

6	Urakkaneuvottelut ja urakkasopimus	47
6.1	Laskelmat ja laitteistot	48
6.2	Lämpimän käyttöveden tehomitoitus käytännössä	49
6.3	Tekninen kokonaisuus, Gebwell (St1:n laitetoimittaja)	49
6.4	Maalämpöprosessi, R10	50
6.5	Laitteiston tehomitoittaminen, tarkennukset	52
6.6	Kylmäaine	53
6.7	Tekniikkatilat, tilalliset edellytykset	55
6.8	Projektihallinta, projektipäällikkö	56
6.9	Aikataulut, toimintamallit	56
7	ML-urakan toteutusaika	58
8	R10-hankkeiden kustannusennusteet sekä muutokset	60
9	Yhteenveto ja päätelmät	62
	Lähteet	66
	Liitteet	
	Liite 1: Tarjousvaiheen tekniset laitetiedot	
	Liite 2: Alkuinvestointitaulukko	

Lyhenteet

HOAS, Hoas	Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiö
R10	HOAS, Rantaharju 10, kohteen osoite ja työnimi
MLP / LP	Maalämpöpumppu. Laite, jolla maassa (tässä projektissa) oleva lämpöenergia siirretään veteen lämpöpumpun avulla
ML	Vaihtoehtoinen termi maalämmön yleisnimitykseen
TATE, Tate	Talotekniikka. Tarkoitetaan lämmitys-, vesi-, viemäri-, ilmanvaihto- (ilmastointi), sähkö- ja automaatiotekniikkaa ja järjestelmiä. Myös kiinteistön jäähdytys voidaan katsoa kuuluvan talotekniikkaan
COP	Lämpötilahyötysuhde, lämpöpumpun hyötysuhde (COP = Coefficient Of Performance) kertoo, kuinka tehokkaasti kuluttettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi
SCOP	Vuosihyötysuhde, SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) kertoo koko lämmityskauden hyötysuhteen, eli vuosihyötysuhteen. SCOP-luku kertoo tarkemmin, mikä on laitteen oikea hyötysuhde markkina-alueella
TRT-mittaus	Testissä mitataan, kuinka paljon kallio pystyy vastaanottamaan lämpöä, kun kaivoon ajetaan lämpöä tätä tarkoitusta varten suunnitellulla laitteistolla
EED mallinnus	EED-mallinnus (Earth Energy Designer) on ohjelma energia-kaivokenttien suunnittelua ja mallinnusta varten
Optimointi	Optimoinnilla pyritään laitteistojen tai investointien takaisinmaksujen maksimaaliseen hyötysuhteeseen

Kevyt optimointi	Tarkoitetaan optimointia, joka tehdään vähemmällä mitoitus-työkalulla sekä vertaillaan vähempiä vaihtoehtoja (todennäköiset kannattavuutta parantavat toimenpiteet)
LJH	Lämmönjakuhuone
PV	Patteriverkosto, käytetään useasti termiä lämmitysverkosto
IV	Ilmanvaihto tai Ilmanvaihdon lämmitysverkosto (tässä työssä)
LV	Lämmin käyttövesi

1 Johdanto

Työn tilaajana toimii Hoas eli Helsingin opiskelija-asuntosäätiö. Säätiöllä on paljon kiinteistövarallisuutta. Alan energian hinnoittelu ja kaukolämmön monopoliasema houkuttelee kiinteistöjen omistajaa pohtimaan energiatehokkaita ratkaisuja. Vuoden 2021 huhtikuussa Kim Lindholm (HOAS) otti yhteyttä opinnäytetyön tekijään Martti Pennaseen (Awillas Oy) ja sovittiin alustavasti maalämpöhankkeen käynnistämisestä. Awillas Oy on LVI-insinööri- ja asiantuntijayritys, joka työllistää neljä henkilöä. Opinnäytetyön tekijä on ollut yrityksen palveluksessa vuodesta 2013 saakka. Yritys toimii erittäin monipuolisesti kiinteistöjen talotekniikan sekä kunnossapidon ja huollon parissa. Toimintaan kuuluvat kiinteistöjen talotekniikan suunnittelun ja ylläpidon tehtävät, taloteknisten korjausten, saneerausten ja uudistuotannon valvonta, kiinteistön hoidon kilpailutus sekä sähköisten huoltokirjojen laadinta. Uusiutuvalla energiantuotantojärjestelmällä tarkoitetaan tässä tarkastelussa maalämpöä sekä näiden rinnalla maksimitehon mitoittamiseen käytettyjä apujärjestelmiä.

Insinöörityön alkuperäinen tarkoitus oli saada selville, kuinka suuria eroja saadaan tehomitoitukseen, kun tehoa määritellään energian kulutukseen perustuen uusiutuvissa energiatuotannon järjestelmissä. Työtä kuitenkin muutettiin. Syynä tähän oli kohde, jonka maalämmön prosessi oli jo osittain käynnistynyt suoraan hankevaiheeseen.

Insinöörityön tarkastelussa pyritään alkuun keskittymään yleiseen maalämmön kannattavuuteen sekä pohtimaan nykyisen energiakäytön tehostamista niin, että samalla pohditaan kustannustehokkuutta mahdollisen tulevan hankkeen edetessä.

Työssä tutkitaan erityisesti kevyen optimoinnin ja investointien vaikutusta kannattavuuteen. Lisäksi tutkitaan varautumista maalämmön sekä varaajien maksimoinnin avulla projektikohteen poikkeuksellisen suuren lämpimän käyttöveden kulutukseen.

Tehon- ja energiantarpeen analysointia tehtiin prosessin monessa vaiheessa. Kohteen tehontarpeita käsitellään energiankulutuksen kautta opinnäyteraportin edetessä.

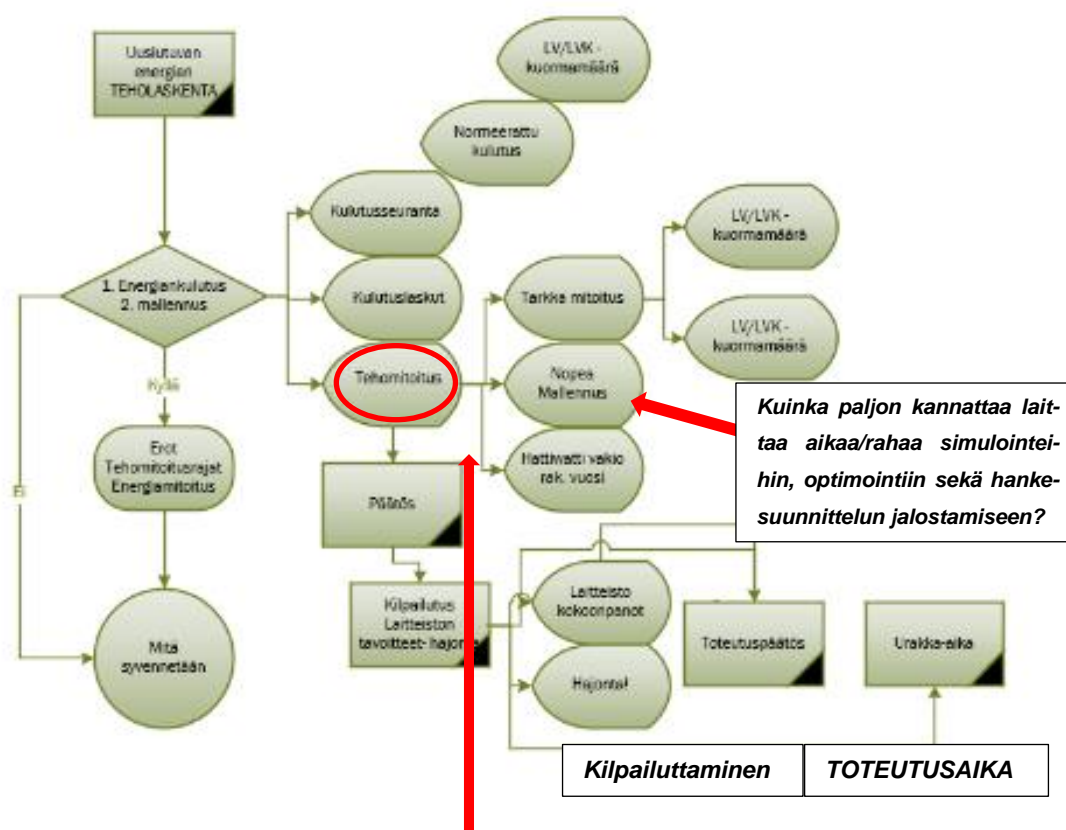
Projektikohteen ML-urakan kilpailutuksen ensimmäisessä vaiheessa tuli hankkeen eri osapuolille yllätyksenä kohteen poikkeuksellisen suuri lämpimän käyttöveden kulutus. Tämä tuotti haasteita tulevan lämpöpumppulaitteiston optimoinnille. Lämmitysverkoston (patteriverkosto) tehokas otettiin projektin alussa tarkasteluun. Patteriverkoston tehomitoituslämpötilat eivät olleet optimaalisia maalämmöllä tuotettavaksi. Kohteen ilmanvaihdon modernisointi ML-urakan yhteydessä oli hankkeen alkuvaiheessa paljon esillä, ja tämä päätettiin toteuttaa urakan aikana erillisprojektina.

Kilpailutusaineiston sisältöä täydennettiin kilpailutusprosessin aikana. Kilpailutusprosessissa on normaalia tarkentaa lähtötietoja. Lähtötietojen tarkennuksella tarkoitetaan tilaajan antamia lisätietoja urakkalaskijoille, jolloin tarjouksen antaminen täsmentyy.

Kilpailutusprosessi päättyy urakkaneuvottelun kautta aina urakkasopimuksen laadintaan. Tämän jälkeen urakoitsijan kanssa laaditaan urakan aikataulu sekä käynnistetään urakka. Opinnäytetyössä käsitellään urakan alkuvaiheita vajaan kahden vuoden ajan. ML-urakka on kuitenkin kesken, urakkasuoritusta ei ole saavutettu valmiiksi ennen opinnäytetyön jättämistä.

2 Lähtötiedot kohteesta

Kuvan 1 kaavioita käytettiin projektin apuna hahmottamaan hankkeen tehon- ja energian tarvetta. Kuvan 1 prosessikaavion on tehnyt opinnäytetyön tekijä ML-projektien alkukartoitusta varten omien tehtyjen projektien pohjalta. Saatuja tuloksia analysoitiin eri kannattavuustarkasteluiden avulla. Prosessikaaviota hyödynnettiin ennen projektin kilpailuttamista. Tavoitteellinen lähtötilanne hankkeeseen varmistettiin kaavion avulla.



Kuva 1. Prosessiajatus uusituvan energiaprojektin hankkeen läpivientiin (tavoite)

Kuvan 1 prosessikaavio selkeyttää maalämmön hankintaprosessia teoreettisessa tarkastelussa. Kannattavuusselvityksissä kiinnitetään usein liikaa huomiota ns. itsestäänselvyyksiin. Näissä selvityksissä olisi syytä pohtia toimivampaa ja laajempaa kokonaisuutta. Kuvan 1 mukaista kaaviota käytettäessä, siinä liikutaan vasemmalta oikealle.

3 Lähtötiedot

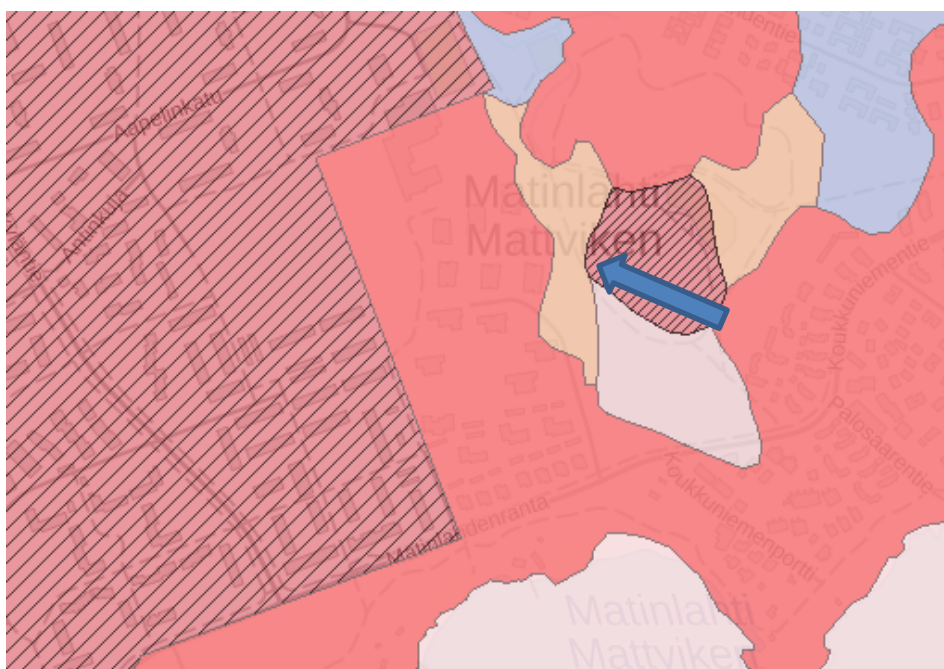
Kiinteistö (kohde) sijaitsee Espoon Matinkylän alueella, osoitteessa Rantaharju 10. Kohteesta käytetään jatkossa pääosin lyhennettä R10. Kuvan 2 avulla voidaan alustavasti hahmotella maaston muodot sekä mahdolliset energiakaivojen sijoittelut.



Kuva 2. Ilmakuva kohteesta [1]

Kuvassa 2 nähdään kiinteistön (kohteen) sijainti Espoon Matinkylän alueella, osoitteessa Rantaharju 10. Kohteesta käytetään jatkossa pääosin lyhennettä R10.

Kuvan 3 avulla varmistetaan maakamarasta, ettei kiinteistö sijaitse epäsuotuisalla alueella.



Kuva 3. Kuva kohteen maakamarasta (R10) [2]

Kuvassa 3 havaitaan kohteen sijainnin olevan kalliopohjaisen maaperän vieressä. Todellisuudessa kalliopinta on paikoin näkyvissä sekä tietyin osin hyvin ohuen maa-aineksen alla.

Työn edetessä varmistettiin, ettei kiinteistö sijaitse pohjavesialueella. Suomessa pohjavesialueella ei voi tehdä maaporauksia eli energiakaivoja.

3.1 Rakennustekniset ja -tekniset tiedot

Kohteessa on yhteensä 7 rakennusta. Lämmönjakohuone sijaitsee rakennuksessa B, josta lämpö jaetaan toisioputkiston avulla kaikkiin kohteen rakennuksiin, osittain patteriverkoston (ikkunan alla lämmityspatterit) ja osittain ilmanvaihdon lämmitysputkistoverkoston (tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet) avulla.

Huoneistoja on yhteensä 216 kpl. Asukasmäärät ovat viimeisen viiden vuoden aikana vaihdelleen 290–330:n välillä. Teho- ja kulutuslaskennassa käytetään keskiarvoa 310 asukasta. (Isännöitsijä Matti Luostariselä saatu tieto 7.toukokuuta 2021)

Lämmin käyttövesi

Jokaisessa huoneistossa on LV/LVK kierto kylpyhuoneen katossa, TPV2 – 10/0,1–25 välillä (TPV2 = säätöventtiili). Tiloissa ei ole lämpimään käyttöveteen liitettviä pattereita. Kohteessa on lämpimän käyttöveden kiertolenkki, jossa LV-/LVK-kupariputket on kiinnitetty toisiinsa, ja lämmönjakuhuoneen kiertopumppu kierrättää näin lämpimässä käyttövesiverkostossa vettä. Käyttövesiverkoston paine- ja lämpöhäviö huomioidaan verkoston virtausta mitattaessa sekä tehontarvetta määriteltäessä.

Kuvassa 4 s.10 lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta on 4,12 dm³/s. Tähän ei sisälly lämpimän käyttöveden kiertovirtaama (LV/LVK) 2,10 dm³/s. LVK-kierron osuus on suunniteltu 5 °C jäähtymällä, joka *myöhemmin on todettu 3 °C suuremmaksi ollen 8 °C*. Lämpimän käyttöveden tehoa arvioitaessa käytetään rakennusajankohdan mitoituslämpötilaa 55 °C sekä vaihtoehtoisesti voimassa olevien määräysten vaatimaa 58 °C:n lämpötilaa.

Lämpimän käyttöveden lämmityksen teho ja lämpimän käyttöveden kiertojohdon teho voidaan laskea kaavalla (1)

$$\dot{Q} = q_v \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (1)$$

jossa:

\dot{Q} = Lämmönsiirtimen teho, kW

q_v = Lämpimän käyttöveden virtaama, dm³/s

c_p = Ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ρ = Nesteen tiheys, kg/m³

ΔT = Lämpötilaero, °C

Teho - LV virtaamamitoitus → 4,12 dm³/s (10–55, lämpötilaero)

779 kW

Teho - LVK kierron virtaama → 2,10 dm³/s (55–50, lämpötilaero)

44 kW

Insinööriyössä ei ole tarkoitus perehtyä lämpimän käyttöveden mitoitukseen syvällisesti. Tarkoitus on varmistaa lähtötietojen oikeellisuus sekä tarkastella vähintään viiden vuoden ajalta tuntikohtaisen lämpimän käyttöveden kulutuksen arvoja. Saatujen arvojen pohjalta teholaskennan tuloksia verrataan kulutustietopohjaiseen tietoon.

Sivulla 12 olevassa kuvassa 11 on esitetty alkuperäinen lämpimän käyttöveden tehomitoitus sekä alla kohteen käyttöveden sekä lämpimän käyttöveden vuosikulutus. Kohteessa on saatavilla tuntikohtaista tietoa, jonka perusteella illalla kahden tunnin aikana kuluu 2,7 m³/h ns. huippukäyttökulutuksena. Tarkoitus on muuttaa lämpimän käyttöveden lämpötila 58 °C:een, jotta palaavan veden lämpötila saadaan pysymään yli 50 °C. Kohteessa ei tehdä käyttövesiverkostomuutoksia, jolloin ei ole mahdollista saavuttaa Rakennusten kaukolämmitysohjeen 2020 K1 [3] mukaisia 58/55 °C:n uudiskohteen mitoituslämpötiloja.

Patterilämmitykseen (PV) tarvittava teho

Patteriverkoston eli lämmitysverkoston teho on suunnittelussa ollut n. 380 kW, mikä tarkoittaa keskimäärin n. 54,3 kW/talo (-26 °C) ulkoilman mitoituslämpötilassa, patteriverkoston meno- ja paluulämpötilojen ollessa 70/40 °C. Pöyryn [4] laatimaa energiatehokkuus selvitystä on käytetty tämän hankkeen laskennassa apuna. Kohdetta ei hankkeessa uudelleen tehomitoituksella tarkasteta.

Laskennassa käytettiin vedessä olevaa energiasisältöä 4,2 kJ/kgK, vaikka patteriverkoston veden lämpötila vaihtelee 20–70°C:n välillä eri vuodenaikana. Myös veden energiasisältö vaihtelee vähäisesti. Laskennallinen ero hyvin vähäinen verrattuna tarkempaan lähtötietoon, joka tosin nousee lähtöarvosta vesi, 4 186 J/(kgK) aina arvoon 4,19 kJ/kgK veden lämmitessä. [5]

Ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava teho

Ilmanvaihdon kokonaismäärä on $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ rakennuksessa. Rakennusten ilmanvaihtokoneet ovat tehoiltaan identtisiä. Ilmanvaihtokoneessa on glykoli LTO patteri ilmanvaihdon esilämmityksessä. Jälkilämmityksessä käytetään kaukolämmön toisiopuolen ilmanvaihdon lämmitysverkostoa. Kevyessä optimoinnissa pohditaan muun muassa onko mahdollista muuttaa ilmanvaihdon toimintaa. Suunnitelmissa ilmanvaihdon lämmitysverkoston menoveden lämpötila pysyy 35 °C :ssa ulkolämpötilan laskiessa $+10$:stä aina -26 °C :een. Tämä tarkoittaa IV-koneiden mitoitusta vain 20 °C :n lämpötilaerolla. Ilmanvaihdon tarvitsema teho on *nestevirtaamasta_laskelmalla 145 kW*. Teho jaetaan 7:lle IV-koneelle (noin $21 \text{ kW} / \text{IV-kone}$). Tämä teho tarkoittanee alle $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ tuloilmavirtaa rakennuksessa, eli noin $1/\text{h}$ (tilan ilmanvaihtokerroin) mitoituspakkasella. Ilmanvaihtokoneen glykoli LTO-toiminta vaihtelee talvikaudella vaikuttaen tehontarpeeseen.

Tilaaajan päätöstä maaviileän hyödyntämisestä tarkastellaan projektin edetessä tarkemmin. Tarpeen mukaan tilanne simuloidaan erikseen.

Ilmanvaihdon viilennyksen käyttäminen

Nykyisissä ilmanvaihtokoneissa ei ole jäähdytystoimintoja. Maaperästä saadaan kesällä maaviileää hyötykäyttöön maalämmön yhteydessä. Projektin edetessä oli tarkoitus tutkia viilennysmahdollisuuksia muuttamalla perinteinen lämpöpatteri kesäaikana jäähdytyskäyttöön.

Jäähdytysenergia (maaviileä) on tarkoitus ajaa lämmitysverkostoon sekä tätä kautta kunkin ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin avulla tuloilmaa viilentämään. Tätä vaihtoehtoa tutkittaessa on varmistettava, ettei mahdollista kondenssivesiongelmia synny kesällä. Kondenssivesiongelmia pyritään estämään aavistuksen matalammalla tehomitoituksella sekä kiinteistöautomaatioon rakennettavan kastepisteohjauksen avulla.

Yhden ilmanvaihtokoneen teoreettinen teho saatiin soveltaen sivulla kahdeksan olevaa kaavaa (1), ja tästä voidaan laskea yhden koneen suunniteltu virtaama.

Mitoitusteknisesti voidaan käyttää lämmityksen ja jäähdytyksen lämpötilaeroa teoreettisessa vertailussa keskenään. Suhdelukua voidaan hakea kaavoilla (lämmityksen deltat

/ jäähdytyksen deltat), jolloin ilmanvaihtokoneen 21 kW voidaan jakaa suhdeluvulla 20/4 tällöin saadaan noin 4–5 kW:n viilennyksen käyttömahdollisuus. Käytännössä lämpötilaeroa voidaan nostaa, jolloin jäähdytysteho nousee. Projektin toimintakoevaiheessa laaditaan tarkemmat laskelmat käyttöön. Lähtökohtana voidaan olettaa eristämättömän raitiskanavan ottavan vastaan vain rajallisen määrän jäähdytettyä ilmaa sekä vain lämpöeristettyyn lämmitysputkeen voidaan ajaa suntin kautta korkeampaa lämpötilaa kuin perinteisessä jäähdytysmitoituksessa.

Seuraavaksi tarkasteltiin lämpöeristykseen suhdetta kondenssieristykseen. Tarkastelussa pohdittiin, millä lämpötiloilla voidaan olettaa saatavan jäähdytystehoa kesäaikana jokaiselle IV- koneelle. Lämpöeristys on villaa, ja se soveltuu sellaisenaan melko heikosti kondenssieristykseen. Tämän takia mitoituksessa pyrittiin tyytymään vähäisempään jäähdytystehoon. Viilennys toteutettiin maaperän avulla. Tätä kutsutaan maaviilennykseksi. Maaviilennystä pyritään ohjaamaan erillisen siirtimen avulla IV lämmitysverkoston kesäaikana. Teknisesti on yleisesti tiedossa oletus, jossa 10 kW:n jäähdytysteho 1 m³/s ilmamäärän suhteessa on riittävän alhainen tehomitoitus, joka ei vielä aiheuta ilmanvaihdon kierresaumakanavassa kondenssivesiongelmia. Tässä vaiheessa ei otettu kantaa mitoitukselämpötiloihin, vaan yleiseen tietämykseen tehon ja ilmamäärän suhteessa mahdollisiin kondenssiongelmiiin. Tätä suurempi jäähdytystehon käyttäminen voi aiheuttaa kondenssiongelmia lämmitysputkistoon, ilmanvaihdon kanavistoon ja niiden kautta rakenteisiin. Ilmanvaihdon konehuoneiden lattioilla on lattiakäivöt, joiden toiminnallisuudet tarkastettiin projektin edetessä.

Tilaaajan päätös jäähdytyksen eli viilennyksen liittämistä projektiin päätettiin ottaa huomioon projektin myöhäisemmässä vaiheessa.

3.2 Kiinteistön talotekniset mitoitustiedot

Insinööritoimisto Patronen Oy on tehnyt kiinteistön alkuperäiset tekniset suunnitelmat vuonna 2004. Insinööritoimisto Pöyry [4] on samassa yhteydessä tehnyt energiateknisen selvityksen kohteeseen. Tässä vaiheessa rakennusvuoden vaatimusten U-arvoelvoitteet on alitettu sivulla 17 olevassa kuvassa 8. IV lämmityspatterit on mitoitettu matalille lämpötiloille sekä se on varustettu glykoli LTO patterilla, Econet (Fläkt)-järjestelmää hyödyntäen.

Teholaskelmalla tarkoitetaan kiinteistön lämmitystehon tarvetta alueen mitoituslämpötilassa (Etelä-Suomi -26 °C) [6]. Mitoituksessa tarkastellaan rakennusvuoden sekä voimassa olevan asetuksen mukaista teholaskentamitoittamista. Tehontarpeen laskennalla ei tarkoiteta *energian- tai tehonkäytön optimointia*. Optimointia tai kevytoptimointia kannattaa suorittaa investointimielessä. Tehontarpeen optimoinnilla tässä projektissa tarkoitetaan ns. energiavaraajien optimointia, jolla ns. maksimitehontuottoa voidaan vähentää.

Alla kuvassa 4 on esitetty lähtötiedot. Näistä voidaan havaita lämmityksen tehontarpeen olevan kohtuulliset. Lämpimän käyttöveden tehontarve on lähtötiedoiltaan poikkeuksellisen suuri.

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS							
LÄMMÖNSIIRTIMET	YKSIKKÖ	LÄMMITYS LS1		KÄYTTÖVESI LS2		ILMANVAIHTO LS3	
Valmistaja		LPM GROUP OY					
Malli		HL2-52		HK2-84/84		HL2-30	
Teho	kW	252		770		145	
Virtaus	dm ³ /s	ENSIÖ	TOISIO	ENSIÖ	TOISIO	ENSIÖ	TOISIO
Lämpötilat	°C - °C	0,88	2,04	3,51	4,12	0,37	1,74
Painehäviö	kPa	115 -45	40 -70	70 -17	10 -55	115-20	15-35
Suunnittelupaine	MPa	2	8	20/1	31	1	18
Rakenneaine		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
SAATTOVENTTIILIT							

Kuva 4. Kaukolämmön laminoitu kytkentäkaavio LJH-seinällä. [7]

Kuvassa 4 nähdään lähtökohdat kohteen lämmitystehon tarkasteluun. Kuvassa on lämmitysverkoston (PV) 70/40 °C sekä ilmanvaihdon (IV) 35/15 °C laskennalliset mitoituslämpötilat. Jälkimmäisen mitoitus sopii hyvin matalalämpöiseen ML-järjestelmään, toisin kuin PV 70/40 °C ei ole optimaalinen. (Huom! Kohteen lämpötilahistoriatiedon perusteella, kohteessa ei ole ajettu yli 62 °C:n lämpötilaa edes mitoituslämpötiloissa. Tämä alempi lämpötila parantaa käytännössä maalämmön COP-arvoa.)

3.3 Maalämpölaitteiston kannattavuus

Alla on luettelomaisesti esitetty yleisiä ML-hankintaan liittyviä Enersys Oy:n [8] väittämiä opinnäytetyön tekijän kommentoimana. Väittämiä on käsitelty Metropolian AMK:n talotekniikan YAMK-luentosarjassa *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla* [8]. Tässä kappaleessa Enersys CM Oy:n väittämät [8] on esitetty kursivilla

ja opinnäytetyöntekijän vastaukset alapuolella normaalilla tekstillä. Opinnäytetyön tekijän kokemuksen ja käytännön perusteella ohjeessa tulisi enemmän painottaa LVI-insinöörin perusvelvoitetta mitoittaa/tarkastaa teho vastaamaan kiinteistön tehontarvetta suhteessa sen maantieteelliseen paikkaan eli lämpötilavyöhykkeeseen.

Energys CM Oy [8] esittämät asiat.

- Projektissa käsitellyt asiat.

Investoinniltaan kalliin maalämpölaitoksen teho kannattaa aina optimoida siten, että säästetään pääoma- ja käyttökustannusten elinkaariminimi.

- Tämä on upea tavoite, kunhan muistetaan tehomitoituksen tarpeellisuus.

Optimaalinen mitoitustaso on kasvanut energioiden ja varsinkin tehon hinnan (esimerkiksi KL ja sähkön tehomaksut ja siirtomaksut) noustessa ja LP-tekniikan ominaishinnan laskiessa. Optimointi johtaa tänä päivänä maalämpölaitoksissa usein hyvin korkeisiin energiakattavuuksiin (jopa 95–100 %).

- Mikäli energialaitokset eivät jousta ML-projekteissa tehohinnoittelussa, ei kaukolämpöä kannata jättää ns. huipputehon tuottamiseen. Tämä voi johtaa siihen, että ML-laitteiden teho mitoitetaan 100 % tehoa vastaavaksi, jolloin yli-investointi nyt opitusta onkin kustannustehokkaampi tapa toteuttaa ML-laitos.

Optimoinnissa pitäisi pystyä ennustamaan myös tulevaisuutta. Esimerkkinä voisi mainita nousevien energian hintojen johtavan korkeampaan mitoitustasoteeseen.

- Suomessa on käytössä EU-direktiivin kulloisetkin ohjeet sekä Suomen oma linja, joka määrittelee, miten laskemat ja korot tulee esittää. Näin ollen ei voida muuttaa ohjeistusta laskelmissa.
- Määriteltäessä energianhinnan prosentuaalista (%) nousua kesällä 2022 huomattiin, kuinka väärässä voimassa olevat asetukset ja ohjeet olivat. Todellisuus on ollut jopa 10-kertainen muun muassa sähkön hinnassa.

Kulutushuipun pituus vaihtelee erittäin paljon kuluttajatyypeittäin, mutta huippua voidaan lähes aina leikata.

- Tapauskohtaisesti optimoinnit jäävät melko vähiin, esimerkiksi asuinkiinteistöissä, joissa on koneellinen poistoilma (ulkona -26 °C Etelä-Suomessa). Lämmintä käyttövettä tulee aina olla tarpeeksi. Sisälämpötilasta

voidaan toki vähän tinkiä, mutta tulee ottaa huomioon, miten se vaikuttaa asumismukavuuteen.

- Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän omaavissa toimistokiinteistöissä voidaan optimointeja tehdä paljonkin.
- Huipun leikkaaminen yleisesti tarkoittaa lämpimän käyttöveden tuottamista lämmitysenergian tehoa tilapäisesti leikkaamalla.

Korkeat energian hinnat johtavat myös energiatehokkaampiin ratkaisuihin toisin sanoen suureen ilmaisenergiaosuuteen sekä L:n (lämpö) että J:n (jäähdytys) osalta.

- Tämä on totta, mutta matalat KL-hinnat ovat tähän asti jarruttaneet tätä kehitystä, mutta tämäkin on korjaantumassa kauden 2022 aikana kaukolämmön suuren hinnankehityksen takia.

Minimitehon tarve tulee selvittää ja laitoksen on toimittava ongelmitta myös minimiteholla. Tätä voi esiintyä jopa 4–5 kuukautta vuodessa.

- Tämä on ML-laitteiston ja erityisesti kompressoritekniikan kannalta tärkeää, että laitteistossa on riittävän hyvä tehosäätö. Poikkeuksen muodostaa scroll eli automaattisen tehosäädön ML-laitteisto, joka kestää paljon käynnistymisiä sekä pienempää tehonkäyttöä.
- Mikäli lämmintä käyttövettä ei tuoteta ML jää hyvinkin vajaaseen käyttöön. Samoin lämpimän käyttöveden varastointi on järkevää. On myös huomioitava, että monesti kiinteistöissä ei yöaikaan ole suurta lämpimän käyttöveden kulutusta.
- Tehostuksen osalta osassa laitoksia kannattaa toteuttaa kesäaikana lämpimän käyttöveden tuotto pelkästään sähkövastuksilla tai lämpimän käyttöveden esilämmitys kannattaa toteuttaa aina.

Huom. Lämpöpumppulaitos ja lisälämpö on suunniteltava ja ratkaistava aina kokonaisuutena. Kallis lisälämpö voi syödä LP-investoinnin säästöt.

- Optimoinnin jälkeen tehdään päätöksiä:
 - Uskotaanko optimointiin, onko se tehty oikein? Onko optimoinnissa otettu oikeat asiat huomioon?
 - Miten huipputeho tuotetaan tässä kohteessa? Mikä on energiatehokas tapa tuottaa huipputeho?

- Lisätöiden, muun muassa maatöiden, sähköliittyminen ym. tarkentaminen, tai muu tarkempi arviointi on aina tarpeen.

Vertaa aina 100 %:n laitemitoitusta huipputehon kulutus- ja kustannuslaskennan tukena.

- Mihin vertailulla päädytään sekä miten tämä huomioidaan laskennassa investoinnin takaisinmaksuaika, 10 vai 25 vuotta?

Järjestelmän toteutus, suoritusarvot, käytettävyys.

- Nämä pitäisi pääsääntöisesti saada elinkaarilaskennassa esille. Kuitenkin käytettävyys on melko samantasoista kaikissa suuremmissa maalämpölaitteissa.

Tärkeä projektin osavaihe, jossa tutkitaan:

- laitteiston elinkaarta, miten verrataan?
- maalämpökentän elinkaari, EDD 25 -50 -100 vuotta?

Investoinnin pitoaika on varsinkin maalämpöjärjestelmissä olennainen tekijä, koska esimerkiksi geoenergiakentän osuus investoinnista on jopa puolet, mutta käyttöikä voi olla uudistalon elinkaaren luokkaa.

- tämä kohta huomioitiin tässä projektissa tällaisenaan.

R10-hankkeessa Metropolian AMK:n talotekniikan YAMK-luentosarjassa *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla* materiaalia [8], sovellettiin hankkeeseen edellä mainituin osin.

3.4 EED-kaivomitoitustyökalun käyttäminen

Kappaleessa käsitellään EED- kaivomitoitustyökalun käyttämistä taloudellista näkökulmasta. Perusongelmana GTK:n mitoitustyökalun [9] ohjeissa on se, että EDD-mitoituksessa tulisi maaperän kyvykkyys selvittää ennen optimointeja. Kuitenkin maaperästä tarvittava energiamäärä selviää vasta erillisen selvityksen sekä mahdollisten optimointien avulla.

Voidaan esittää kysymys, kumpi pitäisi tehdä ensin, kiinteistön optimointi vai maakentän energiasimulointi. Optimoinnissa otetaan kantaa investointiin. Investointiin vaikuttavat maalämpökentän eli energiakaivojen porausten syvyysmetrit ja kappalemäärät, eli

optimointia pitää ulottaa edestakaisin EED-simuloinnin sekä jo tehdyn ”päätöksen” välillä.

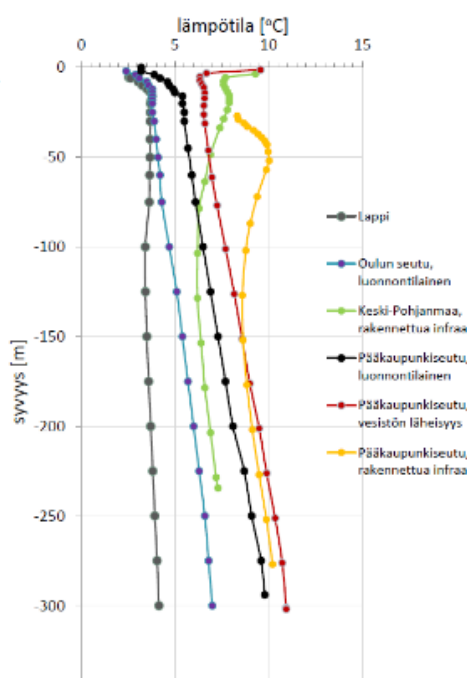
Mikäli simulaatiota on syytä tarkentaa reunaehtojen osalta, olettamalla esimerkiksi, että keruunesteen keskimääräinen lämpötila ei saa 50 vuoden aikana alittaa $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ edellisen $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sijaan. Tällöin kaivosyvyyttä on muutettava. Kuva 6 sivulla 17 on esitetty lämpökaivon keskilämpötiloja.

Ennen hankintasopimusta tai toteutuspäätöstä on suositeltavaa kaivokentän mitoitukselta selvittää energiakentäksi suunnitellun maaperän ominaisuus osana EED-optimointia. Tämän jälkeen pohditaan uudelleen laitevalintoja, osaoptimointia sekä huippu-
tehon tuottotapaa, vai valitaanko 100 %:n tehomitoitus optimoituina kannattavuuteen.

Alla olevasta kuvasta 5 voidaan havaita maaperän lämpötilan muutosta eri syvyydessä.

Lämpötila maankamarassa

- Maankamaran lämpötila kasvaa syvemmälle mentäessä noin $1\text{--}1,5$ astetta / 100 m
- Lämpötiloissa paikakohtaista vaihtelua
 - Kauan rakennettuna olleilla alueilla mittauksissa havaittu noin 50 m syvyydellä asti ylimääräistä lämpöä
 - Pohjaveden virtaukset voivat vaikuttaa lämpötiloihin
- 300 m syvyydellä lämpötilan vaihteluväli Suomessa ainakin $4\text{--}11\text{ }^{\circ}\text{C}$



Kuva 5. Mitattuja maaperän lämpötilagradientin arvoja. [9]

Maapiirin mitoittamisessa pohditaan porakaivojen syvyyttä, jotka nykyään vaihtelevat $200\text{--}350$ metrin välillä. Etelä-Suomessa 300 metrin syvän energiakaivon keskilämpötila on alkuun noin $8\text{ }^{\circ}\text{C}$:n luokassa, kuten kuvasta 5 sivulta 16 voidaan todeta.

Kuvan 6 taulukossa havaitaan eri maaperän kivilajien vaikutusta lämmönjohtavuuteen.

Kivilaji	Lämmönjohtavuuden vaihteluväli* [W/mK]	Lämmönjohtavuuden keskiarvo*
Kvartsiitti	2,56–5,77	4,47
Rapakivi	2,92–4,75	3,84
Graniitti	1,63–4,93	3,61
Granodioriitti	2,01–5,09	3,17
Gneissit	0,99–6,03	3,04
Kiilleliuske	1,35–8,63	2,86
Amfiboliitti	1,37–4,70	2,63
Savikivi	noin 2,2–2,4	

*Perustuu GTK:n laboratoriossa mitattuihin kivilajeihin

Kuva 6. Tyypillisten suomalaisten kivilajien lämmönjohtavuuksia [9]

Kallioperän koostumus eli kivilaji ja sen lämmönjohtavuus on tärkein geoenergian hyödynnettävyyteen vaikuttava ominaisuus. Lämmönjohtavuus kuvaa, kuinka hyvin kalliosta energia siirtyy energiakaivon läheisyyteen siitä lämmönsiirtonesteeseen siirtyneen lämmön tilalle. Suomen kivilajien lämmönjohtavuuden keskiarvo on 3,2 W/mK. [9]

Käytännössä on tullut esille, että maaperän tuotto voi vaihdella paljonkin jo muutaman kymmenen metrin siirtymän jälkeen, joten parhaimmillaankin nämä simuloinnit ja EED ovat suuntaa antavia. Tässä hankkeessa päätettiin kuitenkin tehdä ensimmäisen energiakaivon jälkeen TRT-mittaus sekä EED-simuloinnit.

3.5 Tavoitteellinen laskenta, teoriaosuus

Työssä ei ole tarkoitus tehdä lämmitystehontarpeen uutta tarkastelua, koska kohteessa ei ole tehty energiatehokkuutta parantavia U-arvoa muuttavia toimenpiteitä rakentamisen jälkeen. Jos lähtötietoja ei ole hyvin käytettävissä, tulisi huipputehontarve kiinteistöittäin aina laskea vähintään kuvassa 7 olevan taulukon mukaisella päätasolla.

LÄMMÖNERISTYSMÄÄRÄYKSET

<i>Vertailuarvot RakMk C3</i>	1976	1978	1985	2003	2007	2010 ja 2012 D3	Ruotsi 2006	Norja 2007	Tanska 2006
Rakennuksen vaippa (U-arvot W/m²K):									
-Ulkoseinä	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,18	0,18	0,2
-Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,13	0,13	0,15
-Alapohja	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16	0,15	0,15	0,15
-Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,3	1,2	1,5
-Ovi	2,1	2,1	1,7	1,4	1,4	1,0	1,3	1,2	1,5
Vuotoilma									
-ilmanvuotoluku n ₅₀	6	6	6	4	4	2	0,6 l/s m ²	1,5/2,5	1,5 l/s m ²
-ilmanvuotoluku q ₅₀						4/2/1			
Ilmanvaihto									
-lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (%)	0	0	0	30	30	50	70 test. tulos	70 test. tulos	-
Vaipan lämpöhäviön jousto (%)	0	0	0	10	20	30	-	-	-

Kuva 7. Lämmöneristysmääräykset eri aikakaudella [10]

Kuvan 7 avulla voidaan kunkin rakennuksen pinta-alat asettaa taulukkoon sekä käyttää taulukon antamia U-arvoja tehokaskennan tarpeen määrittämisessä. Tämän lisäksi on huomioitava, missä päin Suomea kiinteistö sijaitsee. Näin joudutaan käyttämään ns. ulkolämpötilan annettua mitoitusarvoa, esimerkiksi Etelä-Suomessa -26 °C. Ilman sisälämpötilana on mitoituksessa + 21 °C. Sisäiset kuormat ja astepäivälaskenta ohjeistavat käyttämään + 17°C:ta järjestelmien mitoittamisessa. Näin voidaan vaikuttaa energian ja tehontarpeen laskentoihin. [10]

Alkuvaiheessa pohdittiin mitä kannattavuuslaskelmia kannattaisi käyttää sekä sitä, paljonko laskelmiin tulisi panostaa sekä ajallisesti että rahallisesti. Alalla on erilaisia analysointi- tai teho-optimointilaskelmia, muun muassa MOBO-ohjelma [11] sekä IDA-ICE

ohjelma [12]. Jälkimmäisellä saadaan kiinteistö mallinnettua sekä MOBO-ohjelmalla tehtyä kannattavuuslaskelmia.

Mikäli lämmityksen tehontarvetta ei ole tiedossa, eikä luoteta mahdolliseen lämmityksen kytkentäkaavioon, tulisi teholaskelmat tehdä. Sivulla 12 olevaa taulukkoa kuvassa 8, tulisi käyttää teholaskelmia tehdessä. Jos jotain osa-aluetta on uusittu energiatehokkuutta parantamalla, ne tulisi erikseen huomioida teholaskelmissa.

Laskentapalvelu.fi -ohjelmaa käytetään E-laskennassa, Energiatodistuslaskennassa sekä sitä voi käyttää esimerkiksi tehontarpeen määrittelyn mallinnuksessa [13]. Edellä mainittu ohjelma on kustannustehokas ja halpa. Vastaavasti IDA-ICE on selvästi kehittyneempi mallinnusohjelma, jossa voidaan mallintaa kohde sekä varmistella muun muassa sisäilman olosuhteita. Projektissa päätettiin tehdä tehontarpeen arviointi yksikertaisemmin analysoituna. Tähän riittivät yksikertaisemmat teholaskentaohjelmat. Tässä vaiheessa pyrittiin huomiomaan kannattavuuslaskelman ja tehontarpeen laskennan erot.

Kannattavuuslaskennan peruspilarina on alkuinvestointilaskelman (liite 2) onnistuminen. Investointien todellisuus selviää vasta tarjouskyselyn ja saatujen tarjousten jälkeen. Tällöinkin on epävarmaa, mitä toteutus tulee todellisuudessa maksamaan ja mitä kaikkea yllättävää hankkeessa tulee esille. Tässä hankkeessa varauduttiin 10–20 %:n hankelisiin.

Kannattavuudessa tulee laskea variaatioita 60–80 %:n osateholliseen mitoittamiseen, missä huipputeho eli 100 %:n teho saavutetaan ulkoisella energialähteellä.

MOBO-ohjelman variaatiolaskelmissa otetaan kantaa kaikkiin samaan aikaan tehtäviin energiantehoa alentaviin investointeihin. Kuitenkin on suositeltavaa pohtia, ovatko julkisivun lisäeristäminen, ikkunoiden vaihto, yläpohjan lisäeristykset sekä uusiutuvan energian teho-osuudet missään vaiheessa suoraan verrattavissa ja millä virheprosentilla.

3.6 Kiinteistön R10 tehontarve ja mitoittaminen

Kohteen vaipan lämmönjohtuminen on 17 % pienempi kuin säädösten mukaisella vertailurakennuksella. Ero johtuu pääosin vaipan hyvistä eristystasoista.

Kohde on rakennettu vuonna 2005. Sen tehontarve täyttää vuoden 2007 vaatimukset, mutta ei enää vuoden 2010 normeja. Alla kuvassa 8 nähdään optimointityökalulla tehtyjä simulointeja harjoitustehtävissä. Tätä kautta pohdittiin työkalun mahdollista käyttöä R10- projektissa.

Suosittelvat kokonaisratkaisut maalämpöjärjestelmän kanssa

Energiatohokkuuden tavoitetaso, E-luku [kWh/m ² ,a]	Pää-lämmitys-järjestelmä	1	2	3	4	5	6	LCC [€/m ²]	IC [€/m ²]
140 (minimivaatimus)	MLP	94	170	0	250	2,5	Ei	289	150
130 (C-luokka)	MLP	94	170	0	250	2,5	Ei	289	150
120	MLP	130	160	0	400	2,5	Ei	294	161
110	MLP	150	170	0	350	1,0	Ei	318	199
100 (B-luokka)	MLP	70	160	0	150	2,5	Kyllä	346	251
90	MLP	73	170	0	250	1,0	Kyllä	366	288
75 (A-luokka)	MLP	70	170	150	350	1,0	Kyllä	428	383

1 = Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus-teho, [kW]

2 = PV-paneelien (aurinkosähköjärjestelmä) kokonaispinta-ala, [m²]

3 = Ulkoseiniin lisätyn lämmöneristyksen paksuus, [mm]

4 = Yläpohjaan lisätyn lämmöneristyksen paksuus, [mm]

5 = Ikkunaremontti, ikkunoiden U-arvo (alkuperäisten ikkunoiden U-arvo on 2,5), [W/m² K]

6 = Ilmanvaihtojärjestelmän saneeraus, uusi tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

LCC = 25 vuoden elinkaarikustannusten nykyarvo, [€/m²]

IC = Investointikustannukset, [€/m²]

Creating Positive Energy



Kuva 8. Suositellut kokonaisratkaisut maalämpöjärjestelmän kanssa [14]

Kuvasta 8 ei selviä, miten MLP-mitoitustehoon (sarake 1) ohjelmassa päädyttiin. Maalämmön laiteomittajilla on useita pohdittavia eri koneteholuokkia. Vastaavasti laitteiden elinkaaren odotusajat tulee huomioida hankinnoissa. Taulukon selkein anti ovat laskennalliset esitystavat ja niiden vaikutukset tehoon sekä ns. E-luvun ohjaavuus pää-töksenteossa.

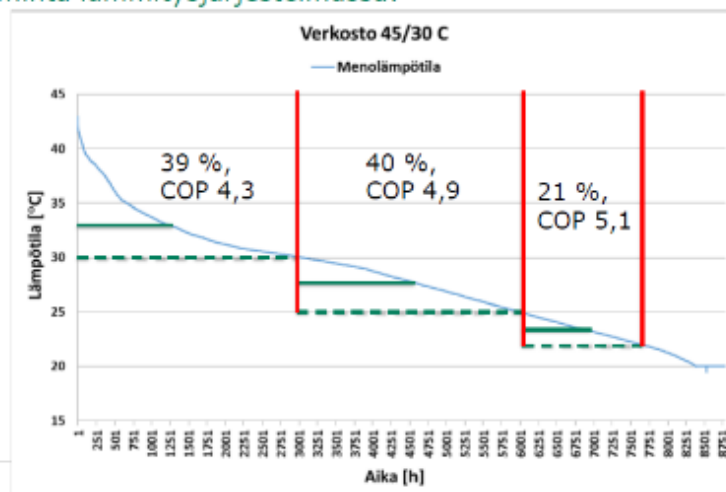
Hankkeen alkuvaiheessa on hyvä ymmärtää U-arvoja parantavien ratkaisujen vaikutukset suoraan tehontarpeen mitoittamiseen. Toisin sanottuna ne pienentävät tätä kautta laitehankintoja vähentäen investointikuluja.

Uusiutuvan energian kannattavuuslaskelmissa on huomioitava lämpötehon luovutuksen tapahtuminen rakennuksen sisälle ns. toisiopuolelle patteri- tai lattialämmityksessä.

Lämpöpumpun COP-arvo alenee eli sen hyötysuhde heikkenee, mitä korkeammilla lämpötiloilla pitää lämmityksen toisiopuolelle energiaa siirtää. Heikkeneminen alkaa noin 60 °C:sta ylöspäin. On hyvä verrata, että R10:een suunniteltu lämmityksen huippuarvo on 70 °C samalla huomioiden käyttöhistorian ylin käytetty lämpötila 62 °C.

Matalalämpöpatterit uudisrakenteisessa maalämpöjärjestelmässä, case-esimerkki

- Toiminta lämmitysjärjestelmässä:



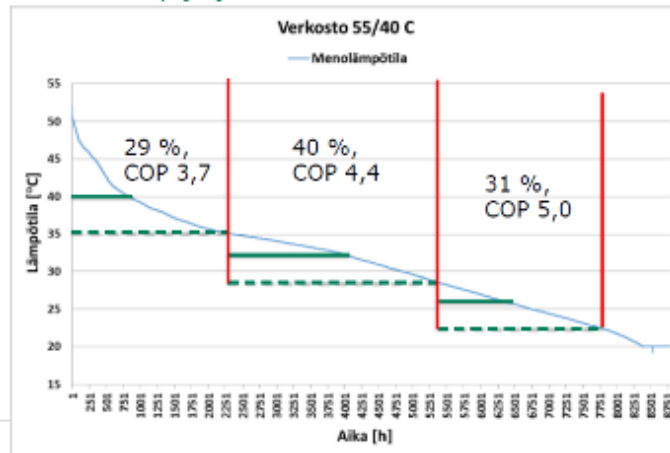
Kuva 9. Lämpöpumpun COP-arvot, kun menoveden lämpötila mitoittavalla ulkoilman lämpötilalla on 45 °C [14]

Yllä oleva kuva 9 sekä kuva 10 sivulla 22 antavat hyvän esimerkin COP:n heikkenemisestä. On huomioitava, että kuvassa on ”matalalämpöpatterit”. Tämä tarkoittaa, että vanhat lämmityspatterit on vaihdettu suuremman massan omaaviin ns. matalalämpöpattereihin. Mikäli kohde on esimerkiksi vanha öljylämmityskohde ja joudutaan käyttämään mitoitusilanteessa 80 °C vettä, on COP jo alle 3, ja tällöin joudutaan käyttää huipputehon tuottamisessa muita energialähteitä.

Kuvan 10 COP-arvot vastaavat 55 °C lämmitysverkoston suunniteltua lämpötilaa, kun vastaavasti kuvassa 10 tämä on 45 °C.

Matalalämpöpatterit uudisrakenteisessa maalämpöjärjestelmässä, case-esimerkki

• Toiminta lämmitysjärjestelmässä:



Kuva 10. Lämpöpumpun COP arvot, kun menoveden lämpötila mitoittavalla ulkoilman lämpötilalla on 55 °C [14]

Niemelä [14] esitti vaihtoehtona tehomitoituksen kautta muuttaa vanhojen 80/60 °C:n PV-järjestelmien lämpötilat matalammalle 65/50 °C:n tasolle.

Voidaan pohtia, miten teho voidaan saavuttaa, kun huomioidaan patterin teholuovutuksen selvä heikkeneminen ja pienempi lämpötilaero sekä mahdollisesti suuremman virtausnopeuden tarve suhteessa lämpöputkien kokoon.

R10-projektissa saatiin hyvänä lähtötietona, että lämmitysverkostoa on ajettu maksimissaan noin 60 °C:n lämpötilalla. Kuvan 10 taulukkoon verrattaessa voidaan saavuttaa 3,7 COP-arvo mitoitus pakkasellakin. Keskimääräinen COP-arvo saavutetaan vuodessa 2500 kylmimmän tunnin aikana.

3.7 Motiva Oy:n laskentaohjeet

Motiva Oy on valtion kestävän kehityksen yhtiö. Motivan tehtävänä on ohjeistaa kuluttajia, asuinyhteisöjä sekä muita kiinteistön omistajia energiatehokkaisiin ratkaisuihin [15]. Motivan kanssa käytiin keskustelua ohjeista, ja opinnäytetyön tekijä kirjoitti YAMK-tutkinnon kypsyysnäyteblogin aiheesta *Motivan tehomitoitus ja ohjeet* [15]. Blogissa todettiin, että Motivan ohjeita netissä olisi hyvä päivittää ja tuoda selkeämmin esille tehomitoituksen tarpeellisuus [15]. Projektin alkuvaiheessa todettiin, ettei Motivan ohjeista ollut käytännössä hyötyä tässä projektissa.

3.8 Ecoreal Oy:n energiakannattavuusselvitys

Projektin alussa saatiin käyttöön Ecoreal Oy:n kohteeseen tekemä energiakatselmus 9.4.2021 [16], jonka perusteella arvio takaisinmaksuajasta oli noin kymmenen vuotta. Tämä arvio kannusti tilaajaa suuresti lähtemään eteenpäin R10 / ML-hankkeessa.

3.9 Projektin (hankkeen) käynnistäminen

Awillas tarkasti Ecoreal Oy:n tekemät peruslaskelmat. Tarkastelussa ei havaittu laskennallisia virheitä. Pienet erot laskennassa johtuivat muun muassa käytetyistä energian hinnoista, takaisinmaksun laskentakaavoista sekä käytetystä korkokannasta ja asetuksen määräämästä energianhinnan nousuprosentista. Investoinnin kustannuksia, eikä sähkötehontarpeita ollut tarpeeksi Ecoreal Oy:n raportissa avattu. Vanha kiinteistöautomaatiojärjestelmä (Atmostech) on erikseen budjettitasolla huomioitu uusittavan hankkeen yhteydessä. Tässä voidaan pohtia, mikä osa hankkeesta on siirrettävä kannattavuuslaskentaan sekä mikä vastaavasti voidaan käsillä normaalin kunnossapidon eli elinkaaren päättymisestä johtuvana asiana.

Kannattavuuden tavoittelu vain kustannustehokkuuteen perustuen ei ollut hankkeessa lähtökohtana. Kuitenkin energiatehokkuuden parantaminen sekä vastuullisuuden tavoittelu johtivat päätökseen hankkeen käynnistämiseksi, ja näillä perusteilla tilaaja päätti käynnistää uusiutuvan energian kilpailutuksen.

Tarkoituksena oli kilpailuttaa kaikki Suomessa toimivat suuret maalämmön toimittajat sekä pyytää heitä esittämään omat vaihtoehdot maalämmön toteuttamiseen. Tarjouspyyntö toimitettiin tämän lisäksi maalämpöpumpputoimittajille, jotka saivat välittää tarjouspyynnön omille asennusurakoitsijoilleen.

Ennen kilpailutuksen käynnistämistä analysoitiin tehomitoituksen tapoja sekä tehomitoituksen kautta tehtäviä järjestelmävalintoja investointitasolla. Tämän tarkoitus oli analysoida takaisinmaksuajan kannalta järkeviä ja kannattavia elinkaari- sekä energiatehokkaita vaihtoehtoja.

Tarkoitus oli ottaa kantaa energian kulutusta pienentäviin asioihin ja niiden vaikutuksesta tehontarpeen mitoittamiseen. Tässä vaiheessa päätettiin korostaa tulevassa kilpailutuksessa tehomitoituksen faktoja enemmän kuin energiakulutuksen perusteisesti tehtäviä teholaskelmia. Päätettiin erityisesti laitemitoituksen kannalta tarkastella huolellisesti huipputehontarvetta ja verrata saatuja tietoja energiankulutuksen tietoihin.

Kokonaan oma projektinsa on se, miten ja millä jaolla tehoa tuotetaan. Tällöin tulisi pohtia kannattavuuden investointien ja käyttökustannukset hankeen näkökulmasta uudelleen.

Analysoinnin edetessä todettiin, ettei patteriverkoston lämmitystehoa (tai mitoituslämpötiloja) voida pienentää kovinkaan kustannustehokkaasti. Pelkkä lämmityspattereiden vaihtaminen ns. matalalämmityspattereihin ei olisi yksin riittänyt. Lämmitysputkiston mitoituksessa on aikoinaan käytetty liian tarkkaa mitoitusta runkoputkikokoja valittaessa. Tämän takia haluttua matalalämmön tarvitsemää virtaamaa ei saavuteta valitulla putkikoolla.

Samalla todettiin, että ilmanvaihdon avulla voidaan lämmityksen tarvittavaa huipputehon pyrkiä rajoittamaan ns. vähentämällä hallitusti ilmanvaihdon määrää (tehoa) energian huippukulutuksen aikana. Ilmamäärää ei kuitenkaan pienennetä missään vaiheessa ns. 0,35 1/h, m² pakkasmitoituksen alapuolelle. Osittain näin olikin jo käytännössä tehty.

Päätettiin, että käyttöveden suuren tehontarpeen riittävyys toteutetaan optimoidulla lämminvesivaraajasäiliöjärjestelmällä sekä osin tehoa rajoitetaan lämmitysverkostossa

hetkellisesti automaation avulla. Käyttöveden lämpimänveden varastointia on tarkoitus analysoida kilpailun aikana eri lähtötarpeiden avulla yhdessä laitetoimittajien ja tarjoajien omien analysointien kanssa.

Kilpailutuksen käynnistysvaiheessa hankkeen teho- ja energia- sekä muita lähtötietoja päätettiin antaa tarjouksen laskijoille perustavalla tasolla. Neuvotteluvaiheessa perus- ja kulutustietoja laitelaskentaan tarkennettiin.

Uusiutuvan energian kilpailuttaminen lähti liikkeelle edellä mainituin perustein.

4 Kilpailuttaminen

Tässä osiossa kilpailuttamisesta käydään läpi koko kilpailutusprosessi: kilpailutuksen lähtöselvittelystä tarjouspyyntöprosessin, tarjouspyynnön, tarjouksenjätön kautta aina saatuihin tarjouksiin asti.

Kuvassa 11 esitetään kilpailutuksen prosessikaavio Pennasen ja Revon [17] mukaan. Prosessikaaviosta käyvät selkeästi ilmi kilpailutuksen vaiheet tarvehankinnasta aina suunnittelun kautta itse kilpailutukseen. Kilpailutuksen aikana voidaan antaa lisätietoja, minkä jälkeen päästään maalämpöhankinnan neuvotteluvaiheeseen ja lopulta sopimukseen.



Kuva 11. Kilpailutuksen prosessikaavio [17]

Kuvan 11 prosessikaaviota voi hyödyntää kilpailutuksen eri vaiheissa.

Tarjouspyyntö

Tarjouspyynnöllä tarkoitetaan kilpailutusaineistoa, joka lähetään uusiutuvan energiantuotannon alalla oleville toimijoille, jotka on esitetty kappaleessa 4.5 sivulla 31.

Tarjouspyyntöaineistoon kuuluivat tässä projektissa seuraavat asiakirjat:

- Tarjouspyyntökirje
- Liite 01 Asiakirjaluettelo (kaupalliset ja tekniset asiakirjat)
- Liite 02 Urakkaohjelma

- Liite 03 Turvallisuusasiakirja
- Liite 04 Tarjouksenjäätölomake
- Liite 05.1 LVI Työselostus
- Liite 05.2 LVI Tiivistelmä
- Liite 06 Vanha kytkentäkaavio
- Liite 07 Vanha Vesi- ja viemäri, asemapiirustus
- Liite 08 Vanha sähkön asemapiirustus
- Liite 09 Tate-talotekniikka modernisointi sekä automaation saneeraus

Tarjouksen aikana toimijoille annettiin lisää tietoja, joista kerrotaan myöhemmin tarkemmin.

Tarjouspyynnön lähetys

Tarjouspyynnöt toimitettiin yhteensä 13 maalämpöä tarjoavalle yritykselle sekä kahdeksalle laitetoimittajalle/-valmistajalle 14.5.2020.

Tarjouspyyntövaiheessa ohjeistettiin, että ensisijaisesti haetaan urakan toteutusta vuodelle 2021. Tarjoajia pyydettiin ilmoittamaan, mikäli he haluaisivat tarjota urakkaa, mutta pystyisivät tarjoamaan toteutusta vasta vuodesta 2022 alkaen. Tällä haluttiin ensinnäkin varmistaa, onko urakka ylipäätään mahdollista toteuttaa vuonna 2021 (toimijoiden tilauskirjat). Toiseksi haluttiin varmistaa mahdollisten tarjoajien määrä, koska mikäli tarjouksia ei saataisi riittävän montaa vuoden 2021 toteutukselle, voitaisiin tarvittaessa urakka siirtää tehtäväksi vuonna 2022 ja pyytää tarjoukset tästä ilmoittaneilta.

4.1 Kohdenäyttö

Kiinteistönäytölle 21.5.2021 osallistui neljä tarjoajaa sekä myöhemmin järjestetyssä jälkinäytössä oli yksi toimija. Tämän lisäksi muutama tarjoaja kävi kohteella itsenäisesti.

4.2 Tarkennuksia laskentaan sekä tarjouksenjättöajan pidennys

Tarjoajille tarkennettiin tarvittavien laitetietojen, kompressorien sekä kylmäaineiden esittämistä tarjouksissa sekä annettiin tarkempia kulutustietoja kohteesta.

Alkuperäistä tarjouksen jättöaikaa (31.5.2021) jatkettiin kohdekierron jälkeen viikolla. Tällöin tarjouksen antajilla oli kohdenäytöstä tarjouslaskenta-aikaa kaksi viikkoa.

Lähellä uutta jättöaikaa kuitenkin ilmeni, että ainoastaan neljä tarjoajaa ennättäisi jättämään tarjouksen määräaikaan mennessä. Vastaavasti taas useat tarjoajat ilmoittivat kuitenkin edelleen mielenkiintonsa tarjouksen jättöön, mutta he tarvitsivat enemmän laskenta-aikaa. Tässä vaiheessa alkoi myös varmistua, että urakkaa ei enää ehditä tekemään vuoden 2021 aikana.

Tilaaaja päätti, ettei hankkeella ole kiire, ja halusi antaa laskijoille aikaa suunnitella tarkemmin hanketta sekä siten saada parempia tarjouksia käyttöön. Tilaaaja tahtoi kunnollisia tarjouksia ja ennen kaikkea tarjoajien omia teknisiä esityksiä, kannattavuus- ja kustannustehokkaita vaihtoehtoja toteuttamiseen. Tämän takia tarjouksenjättöaikaa jatkettiin vielä entisestään kuukaudella.

4.3 Vaihtoehtoiset järjestelmät, hybridit, kaukolämpövaihtoehdosta luopuminen

Tilaaaja suoritti hankkeen alkuvaiheessa Espoon kaupungin vaatimuksesta kohteella puukatselmuksen Hoas:n ympäristövastaavan kanssa. Alustavan katselmuksen tuloksena varauduttiin muutaman heikkokuntoisen puun poistamiseen tulevaksi energiakentäksi suunnitellulta alueelta.

Lämpölaitoksen energiasopimuksen irtisanomisajan valmistelut kuuluivat tilaajalle. Kaukolämmön irtisanomisaika oli kuusi kuukautta. Tiedossa oli, että muutama tarjoaja tulisi esittämään hybridijärjestelmää, jossa huipputehon tuottamiseen käytetään kaukolämpöä. Tämä tarkoitti järkevän hinnoittelun neuvottelua energialaitoksen kanssa, mikäli kaukolämpö jäisi osittain käyttöön sekä mahdollistaisi tämän siirtämisen optimointilaskelmiin.

Tilaaajan toivomuksesta tarjoajille ilmoitettiin, ettei tässä kohteessa kaukolämpöä haluta jättää missään muodossa käyttöön. Tarjoajista muun muassa GST Högfors vetäytyi kilpailutuksesta kaukolämmöstä kokonaan luopumisen takia.

4.4 Teholaskelman tarkennukset tarjouspyynnön aikana

Kuten aiemmin on tuotu esille, toisoverkon optimoinnilla tarkoitetaan laskennallisia menetelmiä löytää kannattavia investointeja esimerkiksi PV:n eli patteriverkoston mitoituslämpötilaa alemmalle tasolle. Tällöin olisi mahdollista hyödyntää ML-järjestelmän suurempia COP-arvoja kussakin ulkolämpötilan olosuhteessa. Tämä olisi yksi tapa vähentää investointikustannuksia.

Hankkeessa käsiteltiin myös kohteen energiatehokkuutta yleisesti sekä pohdittiin, mitkä hankkeet kannattaa toteuttaa samanaikaisesti ja mitä pitää huomioida, jos osa modernisoinneista ja energiahankkeista siirrettäisiin tehtäväksi seuraavalla jaksolla.

R10-projektin tarkentuneet tavoitteet

Projektin tässä vaiheessa oli tarkoitus ottaa kantaa järjestelmätoimittajan teknisiin esityksiin sekä verrata näitä alkuperäisiin sekä käytännön tehomitoituksen tarpeisiin.

Tässä työssä tarkasteltiin teholaskennan tarpeellisuutta tehtäessä tulevaisuuden päästöksiä uusiutuvan energian hankinnoissa sekä toisaalta lämpimän käyttöveden tehon optimaalista ratkaisua.

Työssä haluttiin tuoda esille puolueettomien insinööritoimistojen tarpeellisuutta tarkastaa ja suunnitella uusiutuvien energioiden projekteja. Käytännössä on tullut esille myyjien (tarjoajien) kaupallisia, houkuttelevia tarjouksia, mutta osassa tarjouksia on melko paljon puutteellisuuksia. Tässä työssä todetaan myöhemmin, ettei alkuperäistä suunniteltua lämmitystehontarvetta 100 % ei ole syytä käyttää. Lämmitystehontarvetta vähennettiin ja lämmityksen varaajien avulla maksimitehonmäärää pyrittiin optimoimaan.

Lämpimän käyttöveden tehontarvetta verrattiin kohteen käyttökulutukseen, asukasmäärään sekä muihin mitoitustietoihin. Tavallisesti uusiutuvan energian myyjät tekevät

vajaaseen tehoon perustuvia tarjouksia, mutta tässä projektissa tätä vaihtoehtoa tutkittiin tarkemmin. Työn edetessä huomattiin, että erityisesti lämpimän käyttöveden tarvitsema tehontarve on huomattavasti vähäisempi kuin laskennallisesti alkuun määriteltiin. Tämän vaikutus koko laitteiston tehomitoituksen vähentämiseen oli valintaa tehdessä erittäin merkittävä havainto. Tätä kautta päästiin optimoimaan laitteistoja sekä tätä kautta pienentämään investointeja.

Kiinteistön tehontarve oli yli 50 % pienempi koko kiinteistön lämmityksen sekä lämpimän käyttöveden kulutuksen osalta. Tähän johtopäätökseen päädyttiin viiden edellisen vuoden kulutuksen perusteella aina tuntikohtaista dataa tarkkailemalla.

Edellisen tiedon perusteella saavutetun huipputehon kulutukseen lisättiin 10 % laitekapasiteetti, jolloin lopulta päädyttiin yhteensä yli 500 kW laitokseen. Eri laskelmien perusteella määriteltiin lämpimän käyttöveden varastosäiliöt. Alkuperäinen yli 1 MW eli yli 1000 kW järjestelmä pienentyi puoleen.

4.5 Tarjousten vastaanotto

Tarjousten jättöaikaan vaikutti kesälomakausi sekä yksittäisille tarjoajille annettu pitempi tarjousten jättöaika. Koska kiirettä ei enää ollut, pyrittiin kaikkien mielenkiintonsa ilmoittaneiden tarjoajien kanssa neuvottelemaan ja heitä auttamaan siten, että voisivat tarjouksen halutessaan jättää. Tilaaja hyväksyi kaikki myöhässäkin saapuneet tarjoukset mukaan osaksi käsittelyä. Saatuja tarjouksia oli lopulta kuusi kappaletta.

Tarjoukset saatiin seuraavilta toimijoilta:

- ST Lähienergia Oy
- Tom Allen Senera Oy
- TNT Putki Oy /Nibe
- Techeat Oy /Nibe
- Suomen Kiinteistölämpö Oy (Oilon Oy)
- Wahlres Oy / VT-Energia Oy

Tarjouksia ei saatu, mutta neuvotteluita, keskusteluja ja kiinnostusta kuitenkin oli seuraavilla toimijoilla:

- GST Högfors (jättäytyi pois, kun KL-/ML-hybridi vaihtoehto poistettiin)
- Consti Oy
- Caverion Suomi Oy
- Lämpöykkönen Oy
- Chiller Oy
- Carrier Oy
- Herttoniemen Putkivaruste Oy

Seuraavien toimijoiden osalta tarjouksia ei saatu, vaikka tarjouspyyntö lähetettiin. Suurin syy tarjouksen jättämättömyydestä johtui projektin laajuudesta sekä urakan esittämästä aikataulusta. Tarjouksia ei saatu seuraavilta toimijoilta:

- Bavidia Finland Oy
- Thermia Lämpöpumput Oy
- AB Max's Energy Oy
- Diileri Finland Oy (Lämpödiileri)
- Assemblim Oy

4.6 Tarjouskoonti sekä tarjousten analysointi

Tarjouskoonnissa tehdään kooste saaduista tarjouksista sekä verrataan saatuja tarjoushintoja, tuotteita, tehomitoituksia, energiansäästö lupauksia sekä erityisesti tarjousten poikkeamia suhteessa eri tarjouksiin. Samalla valmistaudutaan tuleviin tarjousneuvotteluihin.

Mitoitusten erilaisuus / laitteistomäärät

Mitoitukset vaihtelivat ns. todellisesta osatehosta aina 100 %:n täysitehon mitoitukseen. Tämä kuvastaa, miten eri tavoin tarjouksia tehdessään tämän alan urakoitsija ja laitetoimittajat tekevät laitemitoituksia.

Tarjousten erilaisuus

Tarjoukset muodostuivat myös hyvin eri tavoin. Vähimmillään tarjouksessa esitettiin ainostaan päälaitteistot, jolloin tilaajalle jätettiin enemmän tehtäviä. Toisessa ääripäässä tarjouksissa oli esitetty ja nimetty kaikki mahdollinen, laiteinvestoinnit jopa erillisinä tilantarpeineen ja ulkokontin avulla.

Hinnoittelun erilaisuus

Hinnoittelussa havaittiin paljon poikkeamia. Erityisesti kahdella tarjoajalla, vaikka laitteistot olivat pääosin samoja ja energiakaivokentät olivat lähes yhtenevät, havaittiin kuitenkin perushinnoittelussa noin 20 %:n ero.

Tarjousten vertailun perusteella

Tarjousvertailun perusteella päätettiin jatkotoimenpiteistä ja siitä, kenet kutsutaan jatko-neuvotteluihin.

4.7 Mitoitusesitykset, tarjoajien eri vaihtoehdot

Vaihtoehtoissa ei ole otettu kantaa, kuka palveluntarjoaja oli esittänyt mitään tehopeittoa. Kuitenkin oli mielenkiintoista havaita säästöpotentiaalien esitykset lähes yhteneviksi, vaikka laitteiston huipputehoissa ja maalämmöntehoissa oli kohtuullisesti eroja. Alla on esitetty eri tarjouksen jättäjien vaihtoehtoja.

Vaihtoehto 1. ML Tehopeiton 76 %

Lämmityslaitteiston mitoitus on tehty tilaajan antamilla lähtötiedoilla ollen 1150 MWh/a, josta lämpimän käyttöveden arvioitu osuus kiertohäviöineen on 400 MWh/a.

Laitteiston tehonpeitto on mitoituslaskelman mukaan 76 % ja energianpeitto 99 % (Ulkoilman keskilämpötila +5,8 °C, alin -24,9 °C).

Lämpökaivoista otettava ominaisenergiamäärä on noin 109 kWh/m/a, tähän pyritään. (Mitoituslaskennassa "Energian otto kaivosta 134,9 kWh/m/a")

Teoreettinen energiasäästö on tässä vaihtoehdossa 25 214 kWh/vuosi (825 MWh/a).

Vaihtoehto 2. ML Tehopeiton 83 %

Lämmityslaitteiston mitoitus on tehty tilaajan antamilla lähtötiedoilla ollen 1 150 MWh/a. Lämpimän käyttöveden määrää ei vaihtoehdossa ollut avattu.

Laitteiston tehonpeitto on mitoituslaskelman mukaan 83 % ja energianpeitto 100 % (keskilämpötila 4,7 °C, alin -24,3 °C).

Lämpökaivoista otettava ominaisenergiamäärä kWh/m/a 110 kWh/m/a.

Teoreettinen energiasäästö on tässä vaihtoehdossa:

794 930 kWh (794 MWh, a, Bosch mitoituksella).

Vaihtoehto 3. ML Tehonpeiton 97 %

Vaihtoehdossa luvattiin 100 % tehonpeittoa.

Lämmityslaitteiston mitoitus on tehty laskennalla kokonaiskulutus

1 200 000 kWh/a. Tarjoajan esitys kWh/a, tarkoittaa 1 200 MWh/a.

Laitteiston tehonpeitto on mitoituslaskelman mukaan 97 % ja energianpeitto 100 % (mitoituskolämpötila -26 °C). Investoinnissa vaikutus on pieni, kun tehonpeitto mitoitetaan mahdollisimman isoksi.

Lämpökaivojen tehokerroin on 30W/m. Ominaisenergia on teoriassa 110 kWh/m. Ennen TRT-mittausta voidaan riskikerrointa pienentää käyttämällä 100 kWh/m, aktiivimetritaristelussa.

Teoreettinen energiasäästö on tässä vaihtoehdossa:

873 657 kWh/vuosi (873,7 MWh)

Vaihtoehto 4. ML Tehonpeiton 100 %

Viessmann-lämpöpumpun nimellisteho on 172 kW, 3 kpl (Yhteisteho 516 kW) COP:n ollessa noin 3.

Tekniset käyrät ja tuottotehot olivat hyvin esillä. ML-laitteet on mitoitettu vastaamaan kohteen mitoituslämpötiloja. Tarjouksessa ei ollut esitelty COP-arvoja.

Käytetty kylmäaine laitteessa on R410A, kuten pääosin muillakin laitetoimittajilla.

Vaihtoehto 5. Uudelleen suunnittelu

Yhden toimijan ehdotus oli projektin uudelleen suunnittelemisen alusta lähtien. Tässä esityksessä tuotiin esille kaikkien mahdollisten energiaparannusten pohdinta ja yhdistäminen aina lämpöpumppuja myöten. Kaikkien optimointien jälkeen projekti käynnistettiin uudelleen.

4.8 Yhteenveto saaduista tarjouksista sekä näiden käsittely

Yhteenvetona saaduista tarjouksista voidaan todeta perinteisten myyjien tarjoavan sitä, mitä pyydetään. Vaihtoehtoiset toimijat tuovat suurempia tehotuottoja sekä säästöta-voitteita. Kaikissa tarjouksissa todettiin EED- sekä TRT-mittauksien tarpeellisuus.

Tarjouspyyntöprojektissa nousi esiin paljon keskustelua patteriverkoston korkean läm-pötilan mahdollisesta pudottamisesta virtaamaa nostamalla tai kokonaan uudella teho-mitoituksella. Neuvotteluissa nousi esiin myös pattereiden vaihtaminen ns. matalaläm-pötilapattereihin.

Käytännön kulutusseurannan perusteella todettiin laskijoille, että kohteessa on Cave-riion-etävalvonta pitänyt lämmitysverkoston menoveden huippulämpötilaa noin 62 °C:n luokassa. Tätä voidaan edelleen huomioida lämmitystehon huippumitoituksessa. Tietoa jalostettiin jatkoneuvotteluissa.

Vaihtoehto parhaaksi laitekokonaisuudeksi päätettiin tarjousneuvotteluissa. Lämpimän käyttöveden laitoskohtaisena mitoitusvirtaamana ns. Coil-varaajille on laitemitoituksessa 4,16 l/s (dm³/s).

Kysymystä siitä, onko kompressorin valinnalla merkitystä, ei tässä opinnäytetyössä oteta tarkemman analyysin kohteeksi. Lämpöpumppujen tekninen kehitys on jatkuvaa. Kylmäaineiden ympäristöluokitukset pakottavat lämpöpumpun toimittajia jatkuvaan kehityskierteeseen. Nykyään lämpöpumppujen oma äly sekä kyky säätää lämpöä portaat-tomasti maksimoi kompressorin hyötysuhdetta toimimaan optimaalisesti kaikissa kuor-mitusolosuhteissa. Tässä projektissa ei kompressoreita otettu tarkempaan analyysiin.

4.9 Tarjousneuvottelut

Tarjousneuvotteluihin päätettiin kutsua viisi toimijaa: kolme tahoja, jotka olivat tehneet tarjouksen tarjouspyynnön mukaisesti sekä kaksi toimijaa, jotka olivat lähestyneet toi-sella tavalla tätä hanketta. Yhtään tarjoajaa ei päätetty hylätä, vaan kaikki tarjoajat sai-vat osallistua neuvotteluihin, ja heidän esityksensä sellaisenaan otettiin mukaan jatko-käsittelyyn. Jokaisesta neuvotetuista laadittiin erillinen neuvottelupöytäkirja.

Neuvotteluissa selvitettiin, miten laitteisto- sekä tehomitoitus on laadittu: onko tarjouksessa poikkeamia tarjouspyyntöön. Lisäksi tutustuttiin tarjoajien esittämään teknisten järjestelmien kokonaisuuksiin. Kaikkien tarjoajien kanssa keskusteltiin myös TRT:n tarpeellisuudesta sekä EED-kaivotyökalun käyttämisestä sekä projektin riskeistä.

Kahden eri tavalla hanketta lähestyneen tarjoajan kanssa neuvotteluissa päädyttiin pääasiassa kuulemaan heidän näkemyksensä ja esityksensä. Nämä kaksi tarjoajaa eivät tuoneet tarjousneuvotteluun mukana etukäteen pyydettyjä tarkennuksia, eikä heillä ollut tarkkaan hinnoiteltuja tarjouksia hankkeen toteuttamiseksi. Molemmat vaikuttivat jättäneen tarjouksen ja tulleet neuvotteluihin enemmänkin tilaajaa tunnustelevalta pohjalla, tuhlaamatta yhtään ylimääräisiä resursseja tarjouslaskentaan. Mikäli tilaaja sitten innostuisi heidän esityksestään, alettaisiin vasta silloin käyttämään resursseja laskentaan ja esitykseen.

Väliyhteenveto kolmen päätarjoajan neuvotteluista

Neuvotteluissa kolme toimittajaa toi korkeamman tehomitoituspeiton kuin ”perinteiset” toimijat alalla. Neuvotteluiden alin tehomitoitus perustui 76 %:n tehontarpeeseen sekä ns. 100 %:n vuosienergian peittotarpeeseen. Kysymys, millä varmistetaan 76 %:n tehontarpeen todellisuus sekä 24 %:n sähkötehontarpeen riittävyys jäi tässä vaiheessa osin auki. Vastaavasti jos tehdään 100 %:n tehonpeitto ML-hankinnasta, ei ole varmuutta, maksaako laiteinvestointi koskaan takasin.

4.10 Tarkennuspyynnöt, tehomitoituksen tarkastelut

Neuvotteluiden jälkeen kaikille neuvotteluissa oleville annettiin tarkennuspyyntöjä, jolloin kukin tarjoaja pystyi tarkentamaan tilaajalle tarjouksiaan ja niiden sisältöä. Tällä varmistettiin tarjoustensa sisältävien tarjouspyynnön mukaiset työt ja niiden vertailukelpoisuus. Vasta tällöin tilaaja pystyi havaitsemaan, miltä osin tarjoukset ja tarjoushinnat erosivat toisistaan.

Kolme tarjoajaa jatkaa, jatkotarkennukset ja -tarkennuspyynnöt

Kaksi eri tavalla tarjouksen jättänyttä tarjoajaa pudotettiin tässä vaiheessa pois jatko-neuvotteluista. Molemmat tarjoukset poikkesivat liikaa tarjouspyynnön sisällöstä, eikä tarkkaa tarjoushintaa ollut annettu.

Kolmelle muulle tarjoajalle lähetettiin vielä erikseen tarkempia teknisiä mitoitus tietoja heidän käyttöönsä, muun muassa. lämpimän käyttöveden pitkäaikaisia kulutustietoja, joilla voitiin tarkastella erikseen viiden vuoden kulutusjaksoa. Näiden toimijoiden kanssa käynnistettiin neuvottelun eli laskennan toinen vaihe kahden viikon jatkettulla laskenta-ajalla.

Erityisesti käyttöön annettujen lämpimän käyttöveden tuntikohtaiset kulutuskuormat vaikuttivat muutaman toimittajan teho- ja laitemitoitusten tarkentamiseen. Tässä vaiheessa kannatti pohtia yleisesti maalämpölaitteistojen mitoituksia ja tarjouksia. Kun alussa tuotiin esiin tehontarpeen puolittaminen, niin tästä huolimatta osalla oli tästäkin pienempiä teho- ja varaajamitoituksia tarjouksissa.

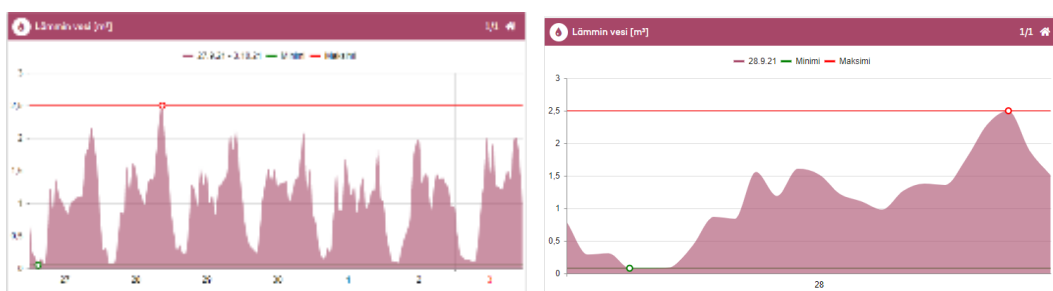
Lämpimän käyttöveden kulutusta tarkasteltiin kylmän veden kulutuksen suhteen Enerkeyn [18] avulla. Tällä tavoin voitiin päätellä kulutusseurannan oikeellisuutta. Veden kokonaiskulutusta verrattiin tämän lisäksi HSY (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY) vesilaskuihin ja todettiin näiden olevan yhteneviä.



Kuva 12. Lämpimän käyttöveden vuositarkastelun jälkeen normaali 2 kk seurantajakso. Enerkey [18]

Kuvan 12 avulla nähdään lämpimän käyttöveden tuntikohtaisen kulutuksen olevan 2,5 m³/h:ssa eli noin 0,65 dm³/s:ssa, kun seurantahistorian näytteenottoväli on 10 min. Seurannassa saavutettiin mitoituksellinen keskiarvo virtaukselle 1,5 m³/h:ssa. Tämä teho on vähintään varattava puskuri- ja säiliövaraajat mahdollisen huippukulutuksen toteutuman mukaan.

EG Enerkey:n Energianseurantajärjestelmän [18] avulla, jossa voitiin tarkastella viiden vuoden aikana huippuviikkokulutuksen tietoja (kuva 13):



Kuva 13. Lämpimän käyttöveden viikkokoulutus- ja päiväkulutusjakso [18]

Kuvassa 13 s. 38 nähdään vasemmassa diagrammissa lämpimän käyttöveden huippukulutusviikko. Oikeanpuoleisessa diagrammissa on tavanomainen seuranta päivä. Päivä alkaa klo 09 jatkuen aina klo 16 asti. Tällöin keskimääräinen virtaama oli noin 1,5 m³/h:ssa. Vastaavasti klo 16–19 välillä kulutus oli aavistuksen laskeva. Kohteen kulutus oli suurimmillaan klo 19–21 aina tuntikulutushuippuun 2,5 m³/h:ssa asti. Tämän jälkeen kulutus laski tasaisesti klo 23 asti ollen noin 1,5 m³/h:ssa. Keskiyötä lähestyttäessä kulutus oli noin 1 m³/h:ssa ja vastaavasti yöllä (klo 01–05) kulutus oli keskimäärin 0,5 m³/h:ssa.

Kuvan 13 s. 37 mukaan lämpimän käyttöveden tehontarkastelu toteutuneen kulutuksen mukaan on 2,5 m³/h:ssa. Tästä laskelmalla mitoitusvirtaama on 0,7 dm³/s:ssa. Lämpimän käyttöveden lämpötilaero ollessa 45 °C:tta saavutetaan 130 kW:n kulutus pohjainen huipputeho.

4.11 Urakan laajuus ja mahdolliset erillisurakoiden käsittely

Viisi tarjoajaa toi neuvotteluissa esille kokonaisuusajattelun sekä mahdollisten vaihtoehtojen kannattavuustarkastelun. Näitä jalostettiin tarjousneuvotteluissa sekä erillisissä urakkaneuvotteluissa. Alla olevaan listaan on koottu vastauksia, joista osa otettiin urakkasopimukseen sekä urakan aloituskokouksessa (26.1.2022) huomioon.

Neuvotteluissa tuli esille seuraavia havaintoja ja kommentteja:

Neuvotteluissa otettiin esille, että kaukolämmönlämmitys jätetään sekä ”myydään” energiaa takaisin energialaitokselle, kun sähkön hinta on halpa sekä myyntihinta on kallis. Ehdotus hylättiin tässä projektissa, koska siirrintä ei haluta jättää, koska kaupalliset myyntiehdot olivat heikot.

Esitettiin myös, että tehdään sähköautojen latausasemat samaan aikaan, kun aluetta kaivetaan. Näin samaan aikaan saadaan osa ML-kaivannoista yhdistettyä projektiin.

- Projektissa päätettiin viedä asiaa eteenpäin kevään 2022 aikana.

Neuvotteluissa ehdotettiin, että automaation saneeraus tehtäisiin osana ML-projektia. Tällöin saadaan Modbus-rekisterin avulla mittaukset, ohjaukset ja säädöt osaksi kiinteistön pääautomaatiojärjestelmää. Automaation uusiminen tarkoittaa vanhan Atmos-tech-järjestelmän uusimista sekä tässä vaiheessa lämpöpumppujen automaation yhteensovittamista.

- Päätettiin ottaa mukaan tähän hankkeeseen.

Neuvotteluissa esitettiin, että ilmanvaihdon modernisointi tehtäisiin samaan aikaan ML-projektin kanssa. Samalla tarkastellaan ilmanvaihtokoneiden vanhojen moottoreiden vaihtamista EC-moottoreiksi. Tämä vaikuttaa tehontarpeen vähenemiseen.

- Päätettiin toteuttaa erillisprojektina tammikuussa 2022.

Neuvotteluissa otettiin kantaa maaviileän hyödyntämistä esimerkiksi suoraan olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereihin. Tällöin voidaan viilentää huoneistoon puhallettavan ilman lämpötilaa. Vastaavasti maaviileän lauhdelämmöllä voidaan ladata energiaa maakaivoihin.

Asia otettiin urakan aloituskokouksessa esille, koska laitteita eikä suunnitelmia ole täysin 100 % tehty tässä vaiheessa. Maaviileän toiminta voidaan liittää yhtiön automaatioon projektin edetessä.

Neuvotteluissa keskusteltiin rahoitus- ja korkolaskelmien tarpeellisuudesta sekä niiden vaikutuksesta ML-urakkaan.

- Rahoituslaskelman hoitaa Hoas, kuitenkin korkoja ei tarvitse investoinneille laskea, koska Hoas rahoittaa investoinnit samana vuonna.

Todettiin, että rakennusluvasta sekä mahdollisista puunkaatoasioista vastaa Hoas. UR myötävaikuttaa projektin edetessä.

- Projektin aikataulu tehtiin tammikuussa 2022.

Neuvotteluissa käsiteltiin muun muassa sähköjärjestelmän uusimisen oheiskustannukset sekä muun muassa sähkölatausaseman rakentaminen samanaikaisesti sekä tähän erillinen tukihakemus.

- Urakoitsijalle on 12.2021 annettu valtakirja selvittää sähköliittymän laajennusta tai toista sähköliittymää. Selvityksen jälkeen, tilaaja tekee päätöksen liittymätehon lisäämisen tavoista.

Ääni, äänihaittojen huomioiminen yläpuolen asuntoon:

- Selvitetään erikseen äänenvaimennustavat. Alustavasti on sovittu, miten ja millä tavalla putkistot sekä laitteistojen äänenvaimennukset tehdään sekä asennetaan.
- Varmistetaan työajan äänihallinta sekä tiedottamiset erikseen, ennen työn alkamista. Neuvotteluissa on todettu tiedottamisen tärkeys.

Patteriverkoston menovedenlämpötilan alentaminen ja kuinka alas sekä millä kustannuksella sekä kannattavuudella sekä patterit vaihdetaan huoneistoissa:

- Kohteessa R10 ei vaihdeta lämmityspattereita. Putkistojen rajoitteellisuus siirtää tämän päätöksen tekoa tulevaisuuteen. Mahdollinen lämmitysverkoston perussäätö tehdään uusilla alemmilla arvoilla.
- Talojen väliset runkoputket ja niiden kapasiteetti sekä mahdolliset maaperähäviöt otetaan erikseen huomioon hankkeen edetessä.

4.12 Kaksi tarjoajaa jatkaa, saadut tarkennukset ja tarjoukset

Kaksi tarjoajaa tarkensi tarjoustaan laitemitoituksen ja hinnoittelun osalta, kolmas pysyi alkuperäisessä tarjouksessaan.

Kolmas tarjoaja halusi edelleen pitäytyä alkuperäisessä 100 %:n tehomitoituksessa, eikä näin ollen halunnut huomioida annettuja tarketietoja, vaikka pyrittiin kertomaan todelliset energia- / tehotiedot käyttöön. Tämän takia päätettiin urakkaneuvotteluita jatkaa

enää kahden toimijan kanssa. Heidän kanssaan jatkettiin laitteiston ja hinnoittelun tarkastelua uusien teho- ja energiamitoitustietojen perusteella.

Tarkennettujen tarjousneuvotteluiden jälkeen saatiin halutut tarkennukset määräpäivään mennessä. Tämä vaikutti ratkaisevasti sopimuskumppanin valintaan. Sopimuskumppanin valinnan jälkeen käynnistettiin urakka- eli sopimusneuvottelut. Neuvotteluissa huomioitiin investoinnin osuus sekä investoinnin vaikutus kannattavuuteen. Kannattavuuslaskelmia tehtiin tilaajan toimesta viimeisen urakkaneuvottelun jälkeen.

Automaation sekä ilmanvaihtokoneiden EC-moottoreiden vaihto päätettiin toteuttaa samanaikaisesti toisten urakoitsijoiden toimesta.

4.13 Kilpailutuksen tulos

Sopimusneuvottelut päätettiin käynnistää St1:n kanssa. Neuvotteluissa otettiin kantaa heidän maalämpölaitetoimittajansa (Gebwell) laitteisiin.

5 Kustannusennusteen tarkentuminen

Pelkästään tehoon- tai energialaskentaan perustuvat esitykset eivät johtaneet riittävään tarkkuuteen. Onneksi käytettävissä oli monipuoliset veden- ja energianmittaukset tunti-kohtaisena kulutusanalysointina, mikä mahdollisti tarkemman laitekannan optimoinnin.

Tässä projektissa pyrittiin antamaan riittävän hyvät lähtötiedot, jolloin laitemitoituksen virheen mahdollisuus oli kilpailutuksen loppuvaiheessa minimoitu. Laskennan lähtötietoja tarkennettiin tarjouslaskennan loppuvaiheessa.

Hankinnan kustannusennuste tarkentui, kun investointikustannukset täsmentyivät. Kuitenkin edelleen kustannusennusteen tarkkuutta heikensivät erinäiset, etukäteen vaikeasti ennakoitavissa olevat tulevaisuuden muuttuvat tekijät, joita ohjaavat asetukset sekä erilliset ohjeet.

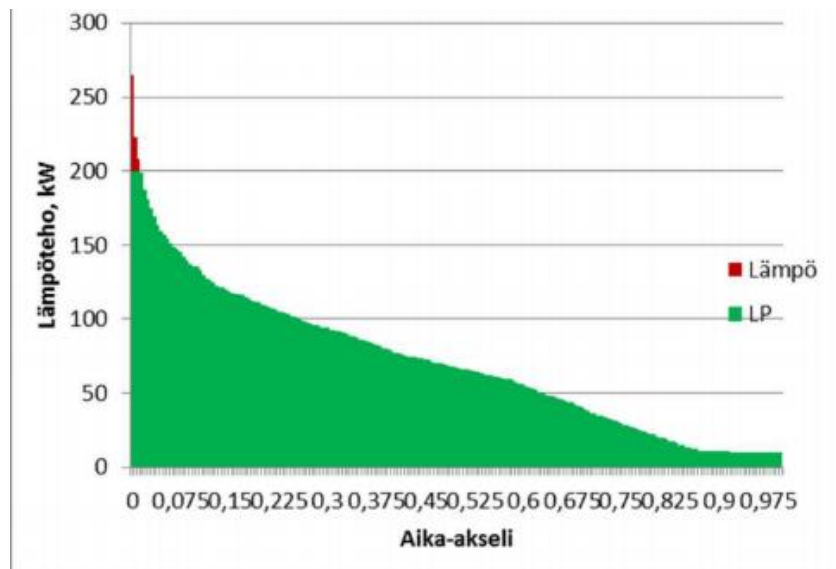
Muuttuvien tekijöiden osalta oli haasteellista esittää laskennalliset säästöt euroina. Alla on listattu erinäisiä muuttuvia tekijöitä:

1. Nykyiseen energiahinnoitteluun ja -kulutukseen perustuvat laskelmat?
2. Energiahinnoitteluohjeet, -asetukset sekä todellisuus että käytettävä korkoprosentit. Samoin kannattavuuslaskelmien tekeminen: 10 vai 25 vuotta?
3. Energiankulutuksen kautta tehontarpeen määrittely ja investoinnin määritelmä.
4. Vaihtoehto; tehon tarve pitää laskea rakennusaikaisten määräysten mukaisesti [5]. Kuitenkin säästölaskelmissa on syytä käyttää vähintään toisena tietona olemassa olevia energiankulutuksia ja tätä kautta todellisia säästömahdollisuuksia.
5. Kalliolouhinnat eli kiilaukset, maalämpöputkiston upottaminen riittävään syvyyteen hyvin kalliopohjaisella alueella.
6. Pihan pinnoituksen viimeistelyt, asfaltti- sekä pihabetonilaatoitusten laajuus.

7. Sähkön tehokapasiteetin aiheuttamat muutokset; muun muassa tähän hankkeeseen tarvittava sähköteho tuo uuden sähkömuuntajan tontin rajalle. Syöttökaapeliin kapasiteetin lisääntyminen nostaa investointikustannuksia.

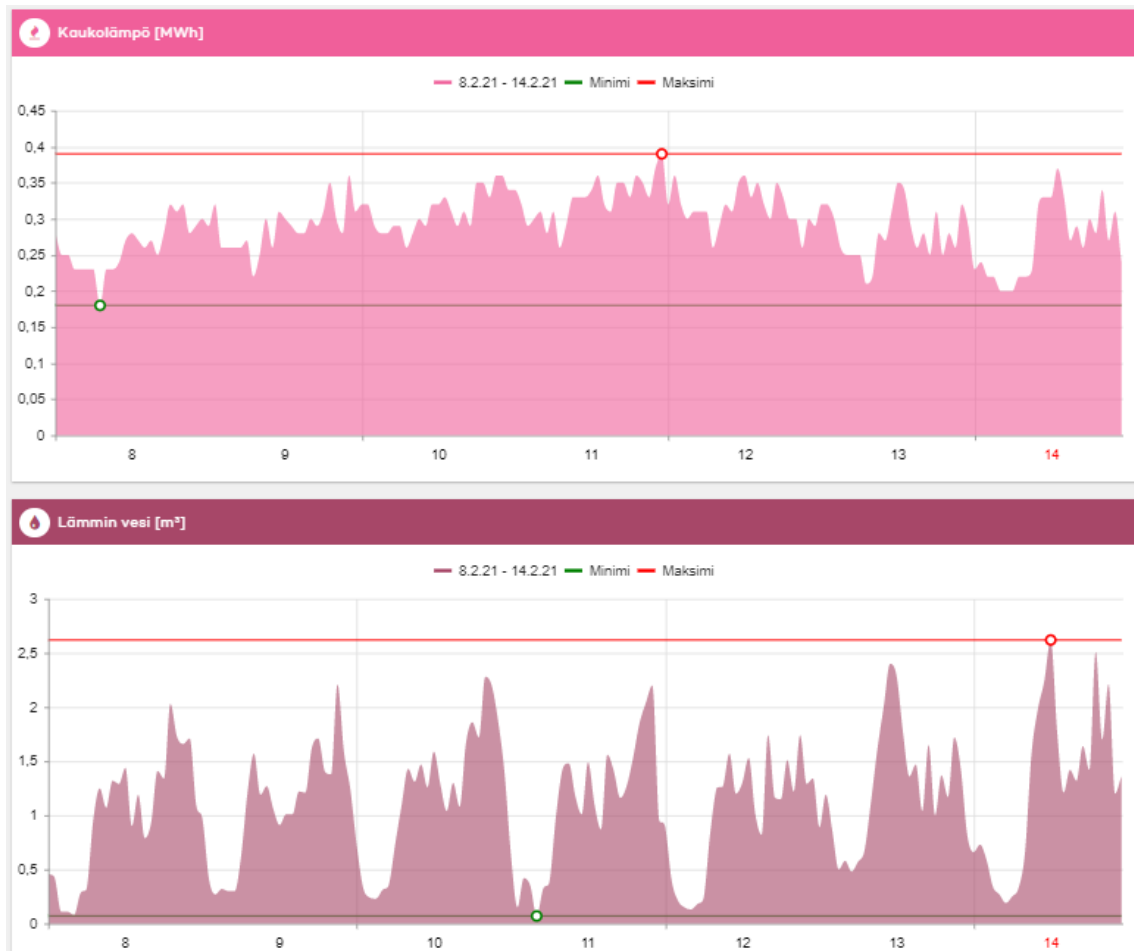
Alla olevan kuvan 14 avulla havainnoidaan lämmitysajaksella maalämmön (LP) tuottamaa energiaa sekä ulkopuolisen energiamuodon tuottamaa ns. huipputehon energiaa aika-akselilla.

Vastaavasti kuvan 14 (liite 2) avulla voidaan päätellä investoinnin kannattavuutta. Kuvasta voidaan tarkastella, mikä osuus voidaan tuottaa maalämmöllä sekä mihin osaan tarvitaan erillistä huipputehoa, joka tässä hankkeessa tuotetaan sähkön avulla.



Kuva 14. Yleinen peruskaavio, jolla lämpöpumpputoimittajat ilmoittavat lämpöpumpun tehon sekä lisätehon ajanjakson (huipputehontarpeen ajanjakso)

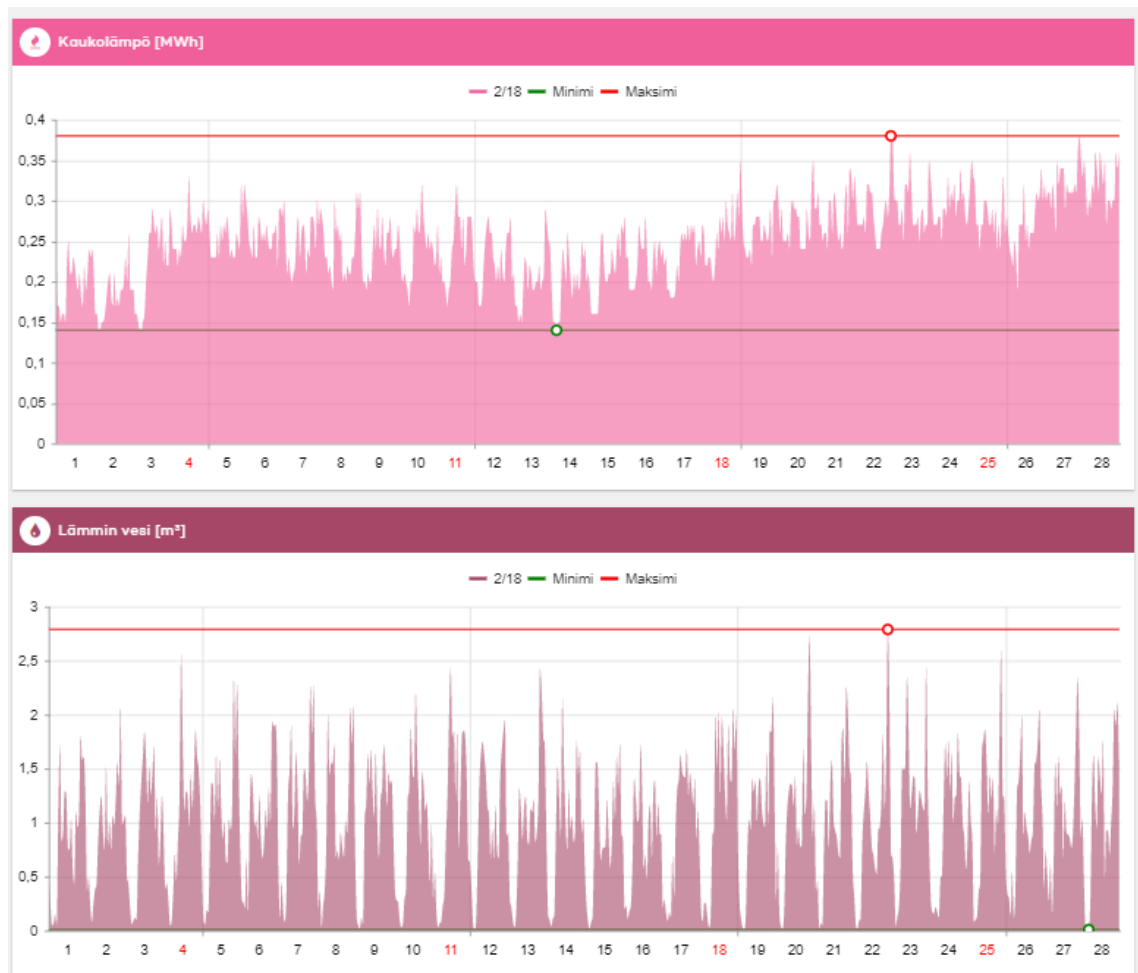
Alla olevan kuvan 15 [18] avulla jatkettiin kulutettujen energian tehomäärien arviointia. Kulutettu energia voidaan havainnoida aikaan sidotulla tehomäärällä. Kiinteistön kaukolämmön kokonaisenergiaa verrataan kuvan 5 alemmassa osassa lämpimän käyttöveden kulutukseen, jonka avulla voidaan pohtia lämpimän käyttöveden osuutta kokonaisenergiasta.



Kuva 15. Ylemmässä osassa kuvaa nähdään 5 vuoden seuranta-ajalta suurimman kulutushuipun viikon seurantajakson huippuenergian (tehon) kokonaismäärät. Kuvan alemmassa osassa on samanaikaisesti lämpimän käyttöveden kulutukset. [18]

Kuvan 15 avulla voidaan todeta, ettei kahden vuoden aikana teho ole ylittänyt 400 kW . Projektissa on tarkasteltu viiden edellisen vuoden kovimmat kulutusjaksot, joiden perusteella on valittu kahden vuoden esitys kuvaan. Tässä vaiheessa voidaan esittää kysymys, miten on mahdollista, jos kohteen PV, IV ja LV huipputehot ovat teoriassa 1 MW:n (1000 kW) luokkaa, todellisuudessa tästä jäädyään jopa 60 %?

Alla olevan kuvan 16 [18] avulla jatkettiin kulutettujen energian tehomäärien arviointia. Kulutettu energia voidaan havainnoida aikaan sidotulla tehomäärällä. Kiinteistön kaukolämmön kokonaisenergiaa verrataan alemmassa diagrammissa lämpimän käyttöveden kulutukseen, jonka avulla voidaan pohtia lämpimän käyttöveden osuutta kokonaisenergiasta.



Kuva 16. Huipputehot ja käyttöveden kuormat viiden vuoden huippuvuoden 2018 helmikuun ajalta esitetty diagrammissa. [18]

Kuvassa 16 tarkastellaan kahden diagrammin avulla viiden vuoden aikana huippukuluksia. Vuoden 2018 aikana oli suurin energian käyttötarve R10-kohteessa. Näiden lämpimän käyttöveden kulutusten pohjalta päädyttiin vähentämään käyttöveden huipputehon tarvetta. Laskelmat tehtiin 3–3,1 m³/h:ssa käyttöveden huipputehona. Tässä vaiheessa päätettiin ottaa 10 %:n kapasiteetin varaus mitoituksessa huomioon.

6 Urakkaneuvottelut ja urakkasopimus

Urakkaneuvottelut suoritettiin yhden toimijan kanssa 9.12.2021. Neuvotteluissa käytiin läpi tarjouksen tarkennukset sekä tehdä mahdolliset sopimuksen tekoon liittyvät neuvottelut. Neuvotteluissa käytiin läpi tarjouksen tarkennukset, tarkennuspyynnöt, erillishinnastot sekä mahdollisten lisätöiden riski. Neuvotteluissa päätettiin laitekombinaatio-suudet, jotka tässä hankkeessa päätettiin tilata. Urakkasopimusta ei saatu vielä 9.12.2021 allekirjoitettua. Urakkaneuvotteluista (sopimusneuvottelut) tehtiin urakkasopimuksen liitteeksi 14-sivuinen asiakirja (numero 1), joka sopimusten pätevyysjärjestyksessä on varsinaisen sopimuksen jälkeen toiseksi tärkein asiakirja.

Tämän jälkeen alkoi tarjouksen ulkopuolisten asioiden selvittäminen. Urakoitsijan laite-toimittajan Gebweliin laitemitoituksia jouduttiin käymään tässä vaiheessa tarkemmin läpi.

Sopimus saatiin vuodenvaihteessa allekirjoitettua tietyillä laitekombinaatioilla. Kuitenkin urakan virallinen aloituskokous pidettiin 31.1.2021, jolloin käytiin urakan toteuttaminen sekä laitehankinnat yksityiskohtaisesti läpi.

Tekniset edellytykset, viimeiset tarkastelut

Teknisissä edellytyksissä ja viimeisissä tarkasteluissa käytiin lävitse muun muassa seuraavia asioita:

- Miten investointilaskenta suoritetaan, 200–400 m kaivoille? Geotekniset oletukset. Huom. EED-mitoitustyökalu on vain 300 m:iin asti ns. sitova.
- Sähkön tarve laitteille sekä huipputehon määrittäminen? Nykyinen sähköliittymä on 2*3*200 A, syöttökaapelin ollessa 2 *XMK 4*185 (mahdollistaa 250A kaapelin). Saatujen tarjousten perusteella nykyinen sähköteho eikä runkokaapelin teho riitä. Suurimmillaan sähkötehortarve on 3*520A. Tämä aiheuttaa projektin läpiviennissä vähintään aikataulullisia haasteita.

6.1 Laskelmat ja laitteistot

Maalämpölaitteiston tarkentaminen tehtiin urakkasopimukseen. Tässä vaiheessa otettiin kantaa kohteen todelliseen lämpimän käyttöveden virtaamaan, joka lähtötiedoissa oli $4,12 \text{ dm}^3/\text{s}$. Alla on kulutusmuutoksia suhteessa aikayksikköön:

- Keskimääräinen kulutus, $24 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow \text{ka } 1 \text{ m}^3/\text{h}$
- Kuitenkin yöaikakulutus on vain $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sekä erikseen huippukulutus klo19–21 välillä on $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$

→ kulutusseurantajärjestelmän viiden vuoden huipputunnin hetkellinen virtaama on ollut vain noin $0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$:ssa.

Sähkötehon kulutus on tässä projektissa melko vähäistä. ML-laitteet kuluttavat sähköä kuten IV- koneet. Mikä ero on EC- sekä taajuusmuuttajalla sähkötehoa pienentävänä tekijänä?

Maalämmön käyttöveden tuotto päätettiin tehdä $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$:ssa virtaamalla. Mikäli virtaama nousee yli $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$:ssa, alkavat varaajat luovuttaa lämmintä käyttövettä.

6.2 Lämpimän käyttöveden tehomitoitus käytännössä

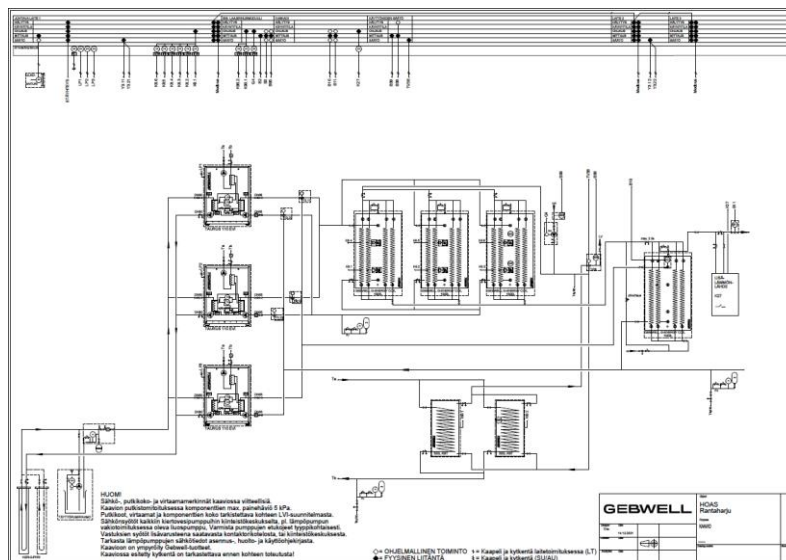
Kuvan 17 taulukossa on esitetty asukasmäärän avulla tehon- sekä varaajien tarve. Tarjouslaskentavaiheessa sekä laitemitoitusten pohjalta voidaan arvioida riittävää lämpimän käyttöveden varaustehoja.

Asuntojen lukumäärä	Asuntojen lukumäärä	Asuntojen lukumäärä / m ²	Veden kuluutus / asukas / vuorok.	Lämpötila-eroaste / K	Lämpötila-eroaste / asukas / vuorok.	Lämpötila-eroaste / asukas / vuorok.	Lämpötila-eroaste / asukas / vuorok.	Rakennusajan mittaus	Energiaenergian mittaus	Energiaenergian mittaus	Energiaenergian mittaus	Energiaenergian mittaus	Energiaenergian mittaus	Energiaenergian mittaus
200	2	400	140	3,48	646	100	1961	5229	3137	10				
250	2	500	140	4,07	754	120	2275	6066	3639	12				
300	2	600	140	4,62	856	120	2895	7720	4632	14				

Kuva 17. RAKMKD1, Rakennusajan mitoitusvirtaamat suhteutettuna asukasmäärien avulla varaajamitoituksiin [19]

6.3 Tekninen kokonaisuus, Gebwell (St1:n laitetöimittaja)

Alapuolen kuvasta puuttuu teknisiä komponentteja, muun muassa 1kpl maaviilennys siirrin, lämmityksen varaajasäiliö 1 m³, sekä lämpimän käyttöveden 1kpl varaajasäiliö 1m³



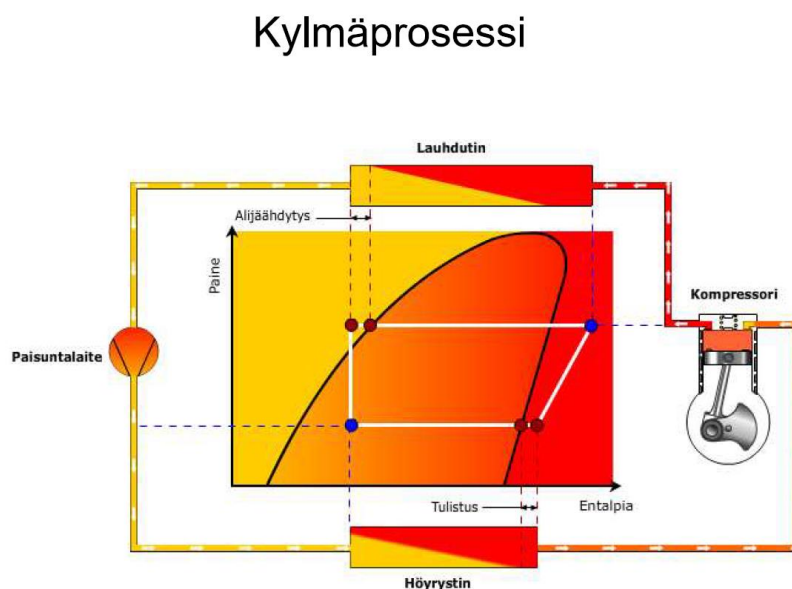
Kuva 18. R10 Gebwell, ML-kytkentäkaavion luonnos 14.12.2021 [19]

Kuvan 18 sivulla 49 kytkentäkaavion toimintaselostuksesta on erikseen varmistettava sähkökattilan eli huipputehontarpeen kytkeytyminen vasta viimeisessä portaassa auttamaan lämmityksen tai lämpimän käyttöveden tuottoa.

Ilmanvaihdon lämmityspiiri pystytään tekemään yhden ML-kompressorin tuottaman energian avulla ajamalla lämpötilaa ensisijaisesti 35–40 °C:een, joka olisi tällöin maksimi käyttölämpötila. Patteriverkoston huippulämpötila on muutettu projektissa maksimissaan olemaan 65 °C ulkolämpötilan ollessa -26 °C. Lämmin käyttövesi on suunniteltu 55 °C:een sekä paluu 50 °C:een. Ongelma on tällä hetkellä liian suuri jäähtymä, jonka takia paluuv veden lämpötila on vain 47–48 °C. Tämä aiheuttaa projektissa painetta nostaa lämpimän käyttöveden lähtevää lämpötilaa aina 58 °C:een asti.

6.4 Maalämpöprosessi, R10

R10-kohteen maalämpöpumppujen valintaprosessissa käsiteltiin kylmäprosessikaavioita sekä niiden kokonaissopivuutta tähän hankkeeseen. Hankkeeseen valittiin kolme lämpöpumppua, joiden toimintaprosessia ei tässä työssä enempää avata. Alla olevassa kuvassa 19 tarkastellaan kylmäprosessia:



Kuva 19. Laitteistovaihtoehdot tuottoon ja tarkasteluun [20]

Kuvassa 19 sivulla 50 nähdään lämpöpumpun toimintaperiaate [20]. Yllä olevan kaavion avulla tarkasteltiin kylmäaineen R410a toiminta-alueita valittujen laitteistojen osalta.

Hankkeeseen valitut laitteet on esitetty tarkemmin opinnäytetyön liitteessä 1. Alla on esitetty kooste hankittavista ML-laitteista:

- 3 kpl maalämpökompessorit, Gebwell Terra, 110 kW, tehontuotto noin 95 kW laite, ollen yhteensä noin 285 kW.
- 1 kpl sähkökattila, huipputehontuottoon, sähköteholla 180 kW.
- 3 kpl 1 m³ lämpimän käyttöveden varaajia, joissa kussakin on erikseen 2 kpl * 9 kW:n sähkövastukset. Sähkövastusten yhteenlaskettu teho on 54 kW.
- 1 kpl 1 m³ lämpimän käyttöveden tulistusvaraaja.

Maalämmön osuus LV/LVK tuotossa pyritään toteuttamaan yhden maalämpöpumpun avulla. Yhden ML-pumpun tuottama teho on 95 kW. Tämän jälkeen tehoa on varastoitu erillisiin lämminvesivaraajiin. Lämpimän käyttövedenkierron 70 kW:n jatkuva teho kuluttaa lähes kokonaan yhden maalämpöpumpun tehon. LVK-häviön jälkeen jää vain 20 kW:ta tuottamaan lämmintä käyttövettä.

Kohteen lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on 4,12 dm³/s. Tätä arvoa ei suoraan tavoitella. Pienempää virtaamaa voidaan käyttää, kun mahdollista tehovajetta paikataan varaajasäiliöiden avulla. Tällä perusteella päädyttiin 1,5 dm³/s virtaamaan. Viiden vuoden hetkellinen huippukulutus on 2,5–3 m³/h. Virtaaman yksikkö muutetaan 0,84 dm³/s. Tämä tarkoittaa käytännössä ainoastaan 176 kW:n huipputehon.

Kun tarkastellaan vuorokauden lämpimän käyttöveden tehoja, saadaan tehovaihtelu 30 kW:sta aina 176 kW:iin asti. Tarkasteltaessa alkupeleistä 770 kW:n tehoa, voidaan pohtia, onko opiskelija-asunnon lämpimän käyttöveden kulutus oikea verrattuna asetuksen mukaisiin mitoitusvirtaamiin.

Maaviileäsiirrin on teholtaan 100 kW. Siirtimeen tilattiin erikseen 3-tieventtiili. Maaviilejärjestelmä jäähdyttää ilmanvaihtoa kesällä ja vastaavasti lataa energiaa maahan.

Yhteenveto tehontarpeista

Yhteenveto kulutustiedoista sekä laskelmista esitetään alapuolella:

- Lämpimän käyttöveden huipputeho saadaan laskemalla huippukulutuksen ja lämpimän käyttöveden kierto yhteen. Tällöin saavutetaan huipputeho *246 kW*.
- Lämmityksen tehontarpeena pidetään edelleen alkuperäistä arvoa *397 kW*.
- Laskemalla edelliset huipputehot yhteen saadaan lämmityksen maksimi tehontarve talvella *643 kW*
- Vastaavasti huipputeho on vain *497 kW*. Tämä johtuu yöajan vähäisestä lämpimän käyttöveden kulutuksesta.

Laitteistohankinta tehtiin näiden tarkastusten perusteella. Projektissa päätettiin tavoitella *550–600 kW:n* laitteistotehoa sekä erillisiä lämminvesivaraajia.

6.5 Laitteiston tehomitoittaminen, tarkennukset

Kuvan 20 I sivulla 53 laskentataulukon avulla oli tarkoitus arvioida toteutuneen huippukulutuksen sekä lämpimän käyttöveden kierron yhteisvaikutusta maalämpölaitoksen mitoittamiseen. Taulukon avulla tutkittiin tarvittavien varaajien määrää, jolla varaustehot voidaan varmistaa lämpimän käyttöveden tuotannossa. Alla olevan kuvan 20 s. 53 taulukon vihreät solut ovat tähän kohteeseen tarkasteltuja ja käytettyjä tietoja.

Energiantuotanto uusivuilla energialähteillä

A) Laskennan mitoitus tieto
- 26 C pakkasen ja kaikki käyvät

B) Kesätilanne, kun ulkona on +24
C. Saadut kulutustiedot, 5 vuoden ajalta.

Asunnot	216	kpl
Kokonaispinta-ala	1000	m ²
Kokonaistilavuus	2600	m ³

Lämpöpumppu harjoitustyö

yh. 10 kpl 100m² asunnot, 2kpl rivitaloja
4 asukasta / huoneisto
Maaputkistävöitä ym. Ei huomioita, käytetään arviotietoja

Lämmitysenergiatarve lyhyt vuosi [MWh]	(2600m³ x 30 kWh/m³) / 1000 = 78,00	
Lämmitysteho lyhyt vuosi [kW]	100 % (3120 m³ * 20 W/m³) / 1000 = 397,00	
Lämpimän käyttöveden vuotuinen energiantarve lyhyt vuosi [MWh]	(1000kg/m³ x 4.2 kJ/kg*(55-50) / 3600) / 1000 = 59,62	
Käyttöveden lämmityksen huipputeho lyhyt vuosi [kW]	0,8 l/s * 4,2 kJ/kg * (55-50) = 152	

Lämpimän veden tarve kahden tunnin aikana [dm³]
KESÄLLÄ, JUHANNUS

Henkilömäärä	316	kpl
Aika	120	min
Vesimäärä 37°C / hlö	90	dm ³
Vesimäärä 37°C	28440	dm ³
Lämpöpumpun vallitseva teho	265,33	kW
Veden lämpötilaero	55-51	°C
Suihkussa, lämpimän käyttöveden lämpötila	50	°C
	37	°C

Vesimäärä 55 asteinen vesi (uusi normi 58 °C pitäisi olla)
(3600dm³ x (37-51) °C) / 50 °C = 16201,6 dm³

Kulutuslukuja (käytetään annettuja arvioita laskelmassa)

Lämmitysteho	20	W/m ³
Lämpöenergia	30	kWh/m ³ a
Vedenkulutus	180	dm ³ /asukas/vk
Lämmön käyttövesi	70	dm ³ /asukas/vk
Rakennuksen vedenkulutus	1022	m ³ /yhtiö
Suihkussa käynti	30	dm ³ /asukas

Dkv = 58 °C LV kulutus kWh/m³
58 = veden lämmittämiseen tarvittava energiämäärä vesikuutiota kohti
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon virtaamaa käytetään 20 % Lämpimän käyttöveden kiertovirtaamasta

Te ei ota kantaa kiinteistön nykyiseen sähköliittymään sen tehoon eikä sähkökattilan ja lämpöpumppujen sähkötehoon.

Lämmityksen tehdään 180 kW sähkökattilalla
Lämmitykseen tehdään 1000 dm³/s puskuvirtaaja sekä varaajaan asennetaan 2" 3kW häätälämmitysvastukset
Huom. Lämpöpumpun tehdään 3" 35 kW tuottaavilla kompressoreilla, jotka voivat toimia kukin erikseen!

Käyttöveden lämmityksen huipputeho
 $\Phi_{IV} = \rho \cdot C_{pv} \cdot q_{v,IV} \cdot (T_{IV} - T_{kiv}) + \Phi_{IV,kierto}$
Lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaihtosema teho
 $\Phi_{IV,kierto} = p_v \cdot q_{v,IV} \cdot (T_{IV} - T_{IV,kierto,paluu})$

Tämä tehdään erilisellä varaajalla, johon liitetään Niben ohjelman mukaan tähän kohteeseen tulisi tulitukseen erikseen 24-27 kW sähkövastukset.

Te PV ja IV erikseen, kun on eri mitoitus.

Lämmityksen tehontarve (lämpöpumppulla)	Lämmitysteho 266,0 kW	
Lämpötilat (lattia, annettu arvo)	Meno 65°C Paluu 40°C	
Virtaama toisiopuoli	Ominaislämpökapasiteetti 4,18 kJ/kg 266 kW / (4,2 kJ/kg * (65-40)) = 2,53 l/s	
Lämmitysteho, lämpöpumpun tehon liuospiiri:	Keruu neste, p=1: 30 Kannunetaan lämpötilat 266,0 kW	

*Juhannuksella: Ilvesällä, kun ei lämmitystarvetta!
uusi asetus 55 ja meno 58*

Rokunäistä teho, joka tehdään +15,4 kW sähkövastuksella!	Lämmitysteho 397,0 kW	
Lämpötilat (lattia, annettu arvo)	Meno 65°C Paluu 40°C	
Virtaama toisiopuoli	Ominaislämpökapasiteetti 4,18 kJ/kg 397 kW / (4,2 kJ/kg * (65-40)) = 3,78 l/s	

Kuva 20. ML-laitteistovaihtoehdot tuottoon ja tarkasteluun [21]

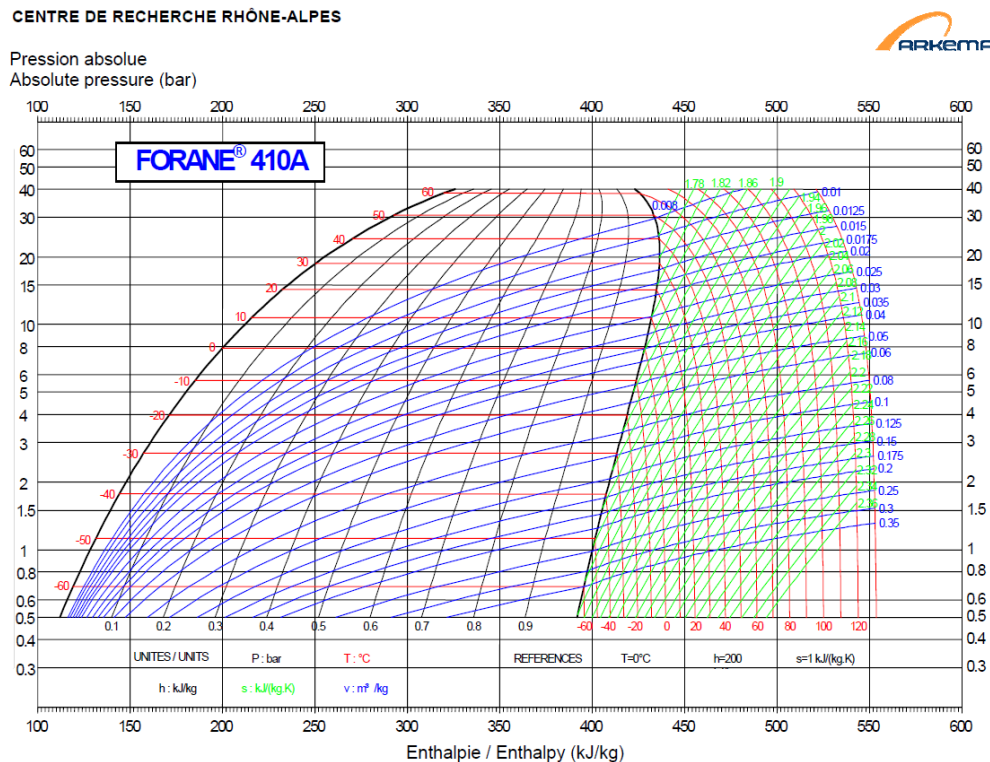
Kuvan 20 taulukkoa käytettäessä, saataisiin tehontarpeeksi lähes 900 kW:n tehontarve. Tämän tekeminen maalämmön avulla tulisi todella kalliiksi investoinniksi tässä hankkeessa. Laskentataulukossa vaihdeltiin eri lähtötietoja, joiden avulla päädyttiin lopulta saatuu lukuarvoon.

Tässä vaiheessa päätettiin hylätä Valkeapään Metropolian AMK:n talotekniikan luento-sarjassa [21] käytetty tehoolaskentakaava ja päätettiin pitäytyä viiden vuoden kulutustiedoista saatuihin huippukulutuksen tietoihin. Kuitenkin edellä mainittu laskentataulukko on erittäin toimiva, jos muita tietoja ei ole käytettävissä.

6.6 Kylmäaine

Tällä hetkellä yleisin maalämpöpumppujen kompressorien kylmäaine on R410A. Sen suuren GWP-arvon vuoksi on tutkittu useita matalan GWP-arvon omaavia kylmäaineita, kuten R32, R452B ja R454B. Nämä ovat turvallisuusluokan A2L kylmäaineita,

jolloin niihin kohdistetaan standardin EN 378 [22] vaatimuksia. Näitä A2L-luokan kylmäaineilla toimivia lämpöpumppuja on tarjolla vain pieniin kohteisiin, eikä niistä ole kokemusta tässä kokoluokassa. EN 378-vaatimusten syystä propaania R290 (A3) eikä ammoniakkia R717 (B2L) voi käyttää R10-kohteessa vanhoissa tiloissa. Hiilidioksidilla R744 SCOP jää liian pieneksi. Kylmäaineen kyvykkyys oli hyvä 60 °C:sta aina 70 °C:een asti. Kylmäaineiden elinkaari ja niiden tulevaisuus käsitellään opinnäytetyössä. R10-kohteen lämmitysverkostoon ei ajettu yli 62 °C:n lämpötilaa. Kylmäaineen kyvykkyys alkaa merkittävästi heikentyä lämpötilan noustessa 65 °C asteeseen. Aineen kyvykkyys 40 °C:ssa on teoriassa paras IV-verkolle (käytännössä ajettu ylempää lämpötilaa IV-verkostoon). Aineen kyvykkyys 58 °C:n lämpimän käyttöveden tuotolle ja LVK kiertohäviölle (71 kW) on riittävä. Alla olevan kuvan 21 Mollier-tilakuvalla tarkastellaan kylmäaineen soveltuvuutta:



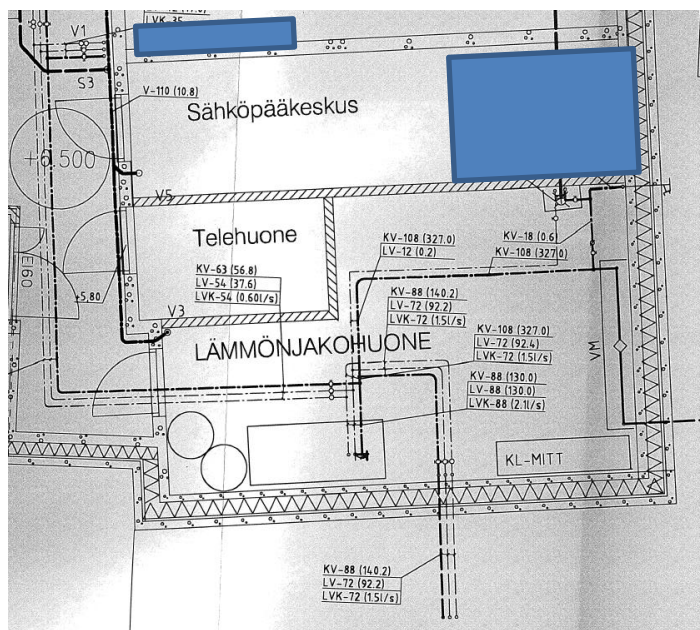
Kuva 21. R410A, Mollier-tilakuvalla havaitaan kylmäaineen ominaisuudet sekä erityisesti kylmäaineen kyvykkyys sekä tulistuskäyrä [20]

Kuvaa 21 [20] käytettiin tarkastuslaskennassa apuna kompressorilaitteiden kylmäainevalintoja tarkasteltaessa. Kaappolan, Metropolian AMK:n talotekniikan YAMK luentosarjassa *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, 2.10.2020 sekä 20.11.2020 [20] selviää hyvin kylmäaineen kyvykkyys eri toimintapisteissä.

6.7 Tekniikkatilat, tilalliset edellytykset

R10-kohteen nykyiset tekniikkatilat eivät riittäneet ML-laitteistolle. Hankkeessa jouduttiin ottamaan lisää tilaa käyttöön sähköpääkeskuksesta sekä pyörien säilytysvarastosta. Sähköpääkeskuksessa joudutaan tekemään pieniä sähkötekniisiä muutoksia sekä sinne jouduttiin rakentamaan uusi väliseinä. Vanhaa LJH:tta laajennettiin SPK:n tilan puolelle.

Tarjouspyynnön mukana oli mukana pohjakuva, jossa esitettiin kellariin lisätilan tarvetta ML-laitteistolle. Alla oleva kuva 22 esittää laajennettua maalämmön tekniikan lisätilaa. Projektin edetessä havaittiin tarve lisätä sähkökeskuksen tilaa. Se tehtiin SPK:n viereiseen pyöräkellarin tilaan.



Kuva 22. Nykyinen LJH-tila sekä ositus, joka otetaan ML-käyttöön.

Kuvassa 22 esitetään, miten alkuperäistä lämmönjakohuonetta (LJH) jouduttiin projektin edetessä laajentamaan entisestään.

6.8 Projektihallinta, projektipäällikkö

Tilaaajalla on erikseen projektipäällikkö, sekä mahdollisella urakoitsijalla on oma projektipäällikkö. Urakkasopimuksessa varmistettiin maalämpöurakoitsijan projektipäällikön pätevyyden riittävän. Tilaajan puolelta kohteen projektipäällikkönä sekä teknisenä valvojana toimii Awillas Oy:n Martti Pennanen.

6.9 Aikataulut, toimintamallit

Urakka-aika määriteltiin toteutuksen osalta siten, että varhaiskeväästä aloitettiin maalämpökaivojen poraaminen ja ryhdyttiin esivalmistelemaan ML-laitteistojen asennuksia.

Urakan karkea aikataulu ajoitettiin vuosille 2021–2022 seuraavasti:

- Joulukuussa 2021 allekirjoitettiin urakkasopimus.
- Tammikuun 2022 lopussa pidettiin aloituskokous, josta laadittiin aloituskokouspöytäkirja. Projektin edetessä urakka eteni toimenpidelupa- ja lopulta aina rakennuslupavaiheeseen.
- Maaporaukset käynnistyivät saman vuoden huhtikuussa, ja energiakentät saatiin kokonaisuudessaan valmiiksi heinäkuun 2022 aikana.
- Maaputkiston kaivuun yhteydessä toteutettiin sähköautojen kaapeloinnit. Tämän lisäksi aloitettiin pohjustamaan ARA-tukihakemuksia.
- Laitteiston asennus käynnistyi toukokuussa 2022. Projektin tässä vaiheessa suunniteltiin ML-laitteiston käyttöönottoa tehtäväksi syksyllä 2022.
- Laitteisto pyrittiin ottamaan käyttöön viimeistään joulukuussa 2022, mutta sähköliittymästä johtuvista syistä käyttöönotto viivästyi. Opinnäytetyön edetessä

saatiin Carunalta tietoa muuntajan saapumisesta tontille vasta 30.11.2022. Viivästys johtuu siitä, että aiemmin toimenpideluvan alainen projekti muuttui sähkömuuntamon takia rakennuslupa- asiaksi.

7 ML-urakan toteutusaika

ML-urakka käynnistettiin R10-kiinteistössä ja sen aloituskokous pidettiin 26.1.2022 klo 08.00 kohteessa.

Aloituskokouksessa käsiteltiin sopimusehtoja. Urakoitsijan sopimusehtoja ei hyväksytty sellaisenaan. Sopimus- ja toimitusehtoja tarkennettiin joulukuun 2021 aikana siten, että sopimus saatiin allekirjoitettua. Neuvotteluiden jälkeen tarkennettiin urakka-asiakirjoja molemmin puolin, kunnes lopulta urakkasopimus voitiin allekirjoittaa (Urakkasopimus YSE 1998 asiakirja).

Mahdollisista lisäpalveluista urakkasopimuksessa viitataan aloituskokouksen 26.1.2022 kohtiin muun muassa:

- TRT-mittaus ja EED-simulointi [23]. Mallinnuksessa käytettiin ruotsalaista Earth Energy Designer (EED) simulointiohjelmää.
- Moottoroitu käyttöveden automatiikka.
- Lämpöpumpun kytkeminen käyttöveden tuotantoon.
- Teknisen tilan huoneviilennys (puhallinkonvektori), maaviileä.

Luettelon mukaisista asioista on sovittu yksikköhinnat, mutta niitä ei ole sidottu urakkasopimuksen hintaan. Ne ovat erillishintoja, jotka tilataan ja laskutetaan erikseen. Samoin suuremmissa lisätöissä käytetään urakkasopimuksen 12 %:n lisäkustannusmahdollisuutta.

Vastaavasti aloituskokouksessa keskustelluista rajapinnoista ei vielä ole sovittu. Näitä ovat muun muassa automaation yhdistäminen ja sen rajapinnat kiinteistön automaatioon.

Maalämpölaitteisto on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2022 aikana. Viimeisimmän tiedon mukaan Carunan muuntamo saadaan vasta helmikuussa vuonna 2023 tontille. Tämän takia lämpölaitteisto kytketään myöhemmin keväällä vuonna 2023 tuotantokäyttöön. Energialaitoksen KL-sopimusta jatkettiin kevääseen asti.

8 R10-hankkeiden kustannusennusteet sekä muutokset

Projektin alussa päädyttiin kymmenen vuoden laskennalliseen takaisinmaksuaikaan. Hoas ei periaatteessa kuulu energiatuen piiriin, eikä kaukolämmöstä luopumisesta saa erillistä tukirajoitusta Arasta. Arasta voi kuitenkin hakea tukea energiatehokkuuden parantamiseen, E-luvun alentamiseen, automaation kehittämiseen sekä sähköautojen latauspisteen rakentamiseen.

Kustannusten alustava investointiennuste oli noin 500 000 €. Kustannusten tarkennuttua kilpailutuksen kautta on kustannusennuste energiainvestoinnin osalta 720 000 €. Projektin kustannusennuste tulee nousemaan aina 1 000 000 € budjettiin asti. Syynä tähän on se, että samanaikaisesti tehdään elinkaarikunnostuksia, kuten muun muassa: sähköautolatausasemat, ilmanvaihtokoneiden EC-moottoreiden vaihtoja sekä automaation laajennettu uudistusurakka.

TRT-mittaus ja EED-simuloinnin tulos oli kaksijakoinen. TRT-mukaan porakaivojen vedentuotto oli ennakoitua parempaa, mutta EED-simuloinnin tuloksena saatiin varmuutta siitä, että pora-alueen pienuuden takia suositellaan tekemään jopa 1,6 km lisää lämpökaivoja. Tätä esitystä tarkasteltiin kriittisesti tilaajan sekä pääurakoitsijan toimesta. Yhdessä todettiin, että maaviilennysten huomioiminen (noin 90 kW) oli huomioitu EED-simuloinnissa, ja tätä kautta saatiin 50 kWh energiantuottoa lisää maaperään. Energialaskennassa oli tehty vain kulutusperusteista simulointia ja vastaavasti urakan alussa oli tehty tuntiperusteista kulutusanalysointia viiden vuoden ajalta, kuten opinnäytetyön kappaleessa 4.1 on tuotu esille.

Projektissa päädyttiin lopulta toimenpideluvan rajoissa (25 lämpökaivoa + 6 varakaivoa) lisäämään lämpökaivoja noin 800 m. Lämpökaivojen poraussuunnitelma, noin 280 m:n kaivot, muutettiin osalta tavoitteellisesti 320 m:n kaivoiksi.

Prosessi eteni hyvin: maalämpölaitteistot asennettiin kesän 2022 aikana; samoin energiakaivojen sekä syöttöputkien putkistot tekniseen tilaan saatiin kesän 2022 aikana toteutettua. Sähköliittymän suuruuden takia haasteita oli Carunan sähköliittymän ja heidän uuden muuntajansa rakentamisen aikataulussa, koska tämä muuntamorakennus

tarvitsee rakennusluvan sekä naapureiden kuulemisen. Alustava muuntamon asennusaika on 30.11.2022 edellyttäen, että kaikki rakennuslupaan liittyvät asiat on saatu hoidettua kuntoon.

Ilmanvaihtokoneiden modernisointi sekä automaation kilpailutus on tehty. Econet-järjestelmästä luopuminen koettiin automaation kannalta alkuun haasteelliseksi, mutta järjestelmästä päätettiin kuitenkin kokonaan luopua ja siirtää ohjauslogiikka uuteen Fidelixx-kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Erillisurakoiden kustannukset ovat erikseen noin 100.000 € urakassa. Erillisurakoiden neuvottelut käytiin alkukesästä 2022 ja urakat päätettiin käynnistää mahdollisimman pikaisesti.

Energiahankkeen takaisinmaksuaika nousi kymmenestä vuodesta aina 14 vuoteen asti. Kun huomioidaan samanaikaisesti tehtävät elinkaariprojektit, takaisinmaksuaika lähenee 17 vuotta. Tilaajan toivomuksesta projektia tarkasteltiin erikseen LCC-laskennan avulla. Tämä ei kuitenkaan tuonut lisäarvoa projektiin.

9 Yhteenveto ja päätelmät

Projektin tavoitteena on ollut antaa ohjeita maalämpölaitteiston hankintaan hankinnan eri vaiheissa. Lisäksi yksi projektin päätavoite on ollut ottaa kantaa investointilaskelmiin ja niiden kannattavuuteen tehontarpeen kautta analysoituna.

Yleisesti kannattaa suunnitella huolellisesti, miten kannattavuuslaskennassa toimitaan. Alussa on pohdittava, miten tehontarpeen laskenta tehdään ja kuinka paljon annetaan painoarvoa energiakulutuksesta saatuun tietoon.

ML-projekti oli haastava, vertailuaineistoa on paljon, ja aineiston selkeyttäminen oli työstä. Työn edetessä oli tarkoitus antaa tarkempaa tietoa laite- ja järjestelmätoimittajan antamiin ohjeisiin tehomitoituksesta.

Laitekokonaisuuksien hankinnoissa tulee huomioida käyttöolosuhteet eri vuodenaikojen mukaan. ML-laitteistot on optimoitava toimikaan kaikkina vuodenaikoina mahdollisimman tehokkaasti.

Sähkötehon käyttäminen suurissa kohteissa olisi hyvä varmistaa etukäteen, jotta paikallisten energialaitosten kapasiteetit saataisiin aikaisemmin hyötykäyttöön. Tällöin välttäisiin vaikeasti ennakoitavissa olevista muuntamoiden rakentamisesta sekä mahdollisista ylimääräisistä rakennuslupa-asioista. Normaali maalämpöprojekti etenee käytännössä pelkällä toimenpidelupamenettelyllä.

Kiinteistön toisiopuolen verkoston soveltuvuuden tarkastelu maaviileän käyttämiseen on hyvä tutkia huolellisesti. Vanhan putkiston villaeristeisten putkien yleinen soveltuvuus matalamman lämpötilan siirtämiseen ei ole paras mahdollinen lähtökohta. Samoin tarkempi tehomitoittaminen toiminnallisuuden sekä putkikoon varmistamiseksi olisi syytä tehdä.

Lämpimän käyttöveden mitoittaminen opiskelija-asunnoissa vaatii tarkemman analysoinnin. Työn ohessa tutkittiin kahden muun pienemmän Hoas-kohteen lämpimän käyttöveden mitoitus- ja kulutustietoja ja päädyttiin näissäkin yli 50 %:n ylimitoitukseen.

Tässä työssä on tullut esille, että on haastavaa saada oikea tehomitoitus opiskelija-asunnoissa aikaiseksi. Ilman energiaseurannan kautta saatuja faktoja ei millään optimointiohjelmalla olisi voinut saavuttaa vastaavaa tulosta.

Vastaavasti maalämpöpumpputoimittajien kolmen vuoden energiankulutukseen pohjautuvia laitteiston tehomitoituksia ei tulisi suoraan sellaisenaan hyväksyä.

Yksi tärkeimmistä havainnoista oli olla ottamatta käyttöveden virallisen asetuksen mukaisia virtaamia sellaisenaan maalämpölaitteiston laitteistomäärittelyn ehdoksi. Työssä on tuotu selkeästi esille hyvän energianseurantajärjestelmän tärkeys analysoitaessa kohteen R10 tehohuippuja ja kulutuksen stabiilisuutta. Tämän takia on uskallettu lähteä energiahankkeeseen, joka puolittaa alkuperäisen tehontarpeen.

Opinnäytetyöstä saisi tulevaisuudessa mielenkiintoisen lisätutkimuksen, jossa tarkasteltaisiin voimassa olevia lämpimän käyttöveden mitoittamiseen tehtyjä asetuksia ja ohjeita sellaisenaan ja jossa haastettaisiin alaa muuttamaan mitoitusohjeita.

Optimoinnin lisäksi on hyvä pohtia kunnossapidon ja kiinteistön remontteja, muun muassa putki- ym. remontteja, jotka on tehtävä elinkaareen perustuen, ei energialaskentaan perustuen. Onko kuitenkin hyvä huomioida yhtiön 10 vuoden PTS- tai 25 vuoden strategiassa, miten yhtiön energiakulutusta tulevaisuudessa hallitaan ja käytetään?

Ehdotukset jatkotutkimuksiksi

Opinnäytetyö luo muun muassa seuraavia lisätutkimusmahdollisuuksia:

Energiankulutusta vähentäviin ratkaisuihin liittyvä energiatukia suositellaan täsmennettävän esimerkiksi EU:n sekä Suomen asettamien energiakulutustavoitteiden osalta. Erityisesti olisi hyvä tutkia säädösten vaikutusta nyt ja tulevaisuudessa kannattavuuslaskelmiin ja tehomitoittamiseen.

Hiilijalanjäljen minimointi on tulevaisuudessa aina vain tärkeämpää. Tulisiko tehomitoitukset ottaa pakolliseksi osaksi tukianomuksia haettaessa?

Hoas:n kiinteistöissä tulisi lämpimän käyttöveden tehon riittävydestä tehdä erillinen jatkotutkimus. Saatujen tulosten perusteella tehon ylityttämisen voi olla jopa 50 %, ja tämä olisi hyvä huomioida paremmin jatkossa.

Ympäristöministeriölle esitetään jatkotutkimusehdotus, jossa ARA-rahoituksen vakiinnuttaminen sekä tehomitoituksen huomioiminen hankinnoissa pitäisi saada osaksi tukihakemuspäätöksiä.

ML-projektien yleiset riskit

ML-laitteistojen kannattavuus heikkenee merkittävästi, jos sähkön siirtomarkkinat alkavat laskuttaa tehomitoitukseen perustuen. Jos sähköenergian hinta on laskettu noin 10–13 senttiä/kWh, ML-laitteistojen kannattavuus muuttuu, jos hinta nousee 100 %:sta aina 200 %:iin. ML-laitteisto käyttää kompressoreissa sähköenergiaa, jolloin sähkön korkean hinnan aikana ML-laitteiden rahallinen hyöty heikkenee merkittävästi.

Jos valtion tukirakenne, tukimuodot tai -tavat muuttuvat radikaalisti, vaikuttavat nämä asiat investointilaskelmien oikeellisuuteen jopa 10–20 %:n verran. Projektin kannattavuus lyhenee tällöin 2–5 vuotta.

Kannattavuuslaskelmien onnistuminen sekä erilaisten optimointien onnistuminen voi olla haasteellista. Optimoimatta jättämisen riskit voivat olla suuria urakkaan, investointeihin ja hankkeen onnistumiseen liittyen.

Riskinä voidaan esittää, osataanko optimoida oikein sekä kuinka paljon vanhoista pattereista voidaan saada tehoa matalimmilla mitoitusarvoilla. Toinen asia on, missä tulee vastaan pattereiden vaihtamisen jälkeen lämpöputkien koko. Opinnäytetyön R10-kohhteessa putkisto oli mitoitettu todella pieneksi, minkä takia lämmitysverkoston optimointi sekä matalalämpöpattereihin siirtyminen päätettiin unohtaa.

Kaukolämmön kohtuuttomat hinnankorotuspaineet esimerkiksi Helsingin energiaverkoston 30 %:n hinnannousu yhdessä vuodessa 2022 tuo paljon tahtotilaa luopua ylikalliista energiasta, jonka hinta voi hallitsemattomasti nousta entisestään.

Yksi riski on myös se, jos kaikki Suomen kiinteistöt siirtyisivät lämpöpumpputeknologiaan, ei ML-laitteiden huipputehon hankinta sähköllä olisi mahdollista. Tästäkin on tuotu skenaarioita esille, ettei Suomen sähköntuotanto pystyisi tuottamaan nykykapasiteetilla riittävää sähkötehoa, saati sitä, miten se vaikuttaisi sähkön hinnoitteluun.

Riskit: kylmäaineet ja EU

Euroopan unioni julkaisi toukokuussa 2014 uuden F-kaasuasetuksen, jonka tarkoitus on vähentää ilmastolle haitallisten kylmäaineiden käyttöä kylmäkoneissa ja lämpöpumpuissa. F-kaasuasetuksessa kylmäaineiden ilmaston lämmitysvaikutusta verrataan hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen, eli GWP:hen, joka on hiilidioksidilla 1. Perinteisten kylmäaineiden GWP-luvut ovat 4–4 000. Ennen F-kaasuasetusta Montrealin pöytäkirja otsonikerrosta heikentävistä aineista poisti käytännössä kokonaan markkinoilta otsonia hajottavat CFC-kylmäaineet [24].

Yksi tarjoaja esitti *teoreettista* vaihtoehtoa käyttää maalämpölaitteissa hiilidioksidia, mikä on teoriassa ympäristöystävällisin vaihtoehto tällä hetkellä, mutta valitettavasti emme saaneet tästä konkreettista tarjousta, jotta olisimme tämän kylmäaineen käsittelyä vieneet eteenpäin.

Lähteet

- (1) Rantaharju 10, Google Maps, <https://www.google.fi/maps/place/Rantaharju+10> Luettu 1.9.2021.
- (2) Rantaharju 10, Maakamara, <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/> Luettu 1.9.2021.
- (3) Energiateollisuus Oy, Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet, Julkaisu K1 2020, https://energia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf Luettu 1.9.2021.
- (4) Jaakko Pöyry Infra, *Energiatehokkuusselostus*, 22.3.2004, TTY6030-460.
- (5) Suomen Standardisoimisliitto, Veden ominaislämpökapasiteetti, SI-opas: suu-reet ja yksiköt. SI-mittayksikköjärjestelmä, *SFS-oppaat*. 04.11.2002, Helsinki. <http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf> Luettu 1.9.2021.
- (6) D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
- (7) Insinööritoimisto Reijo Patronen, *Kaukolämmön laminoitu kaavio*, 2004.
- (8) Kauppila, Enersys CM OY, YAMK-luentosarja, *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, Helsinki, Metropolia AMK, 19.3.2021.
- (9) GTK, Leppäharju & Huusko, YAMK-luentosarja, *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, Helsinki, Metropolia AMK, 20.11.2020, 19.3.2021.
- (10) Paloniitty, Paloniitty Oy, TTS-Työteho-seura, Lämpökamerakurssi, *Rakennusfyysikka osa III*, 4.9.2019.
- (11) MOBO-ohjelma, VTT:n ja Aalto-yliopisto, optimointityökalu.
- (12) IDA-ICE-ohjelma, IDA Indoor Climate and Energy, simulointiohjelma.

- (13) Laskentapalvelu.fi-ohjelma, D.O.F. Tech Oy:n ja Saint-Gobain Finland Oy:n, <https://www.laskentapalvelut.fi/kirjauduttu.php> Luettu 1.9.2021.
- (14) Niemelä, Granlund, Talotekniikan YAMK-luentosarja, *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, Helsinki, Metropolia AMK, 11.12.2020.
- (15) Pennanen, YAMK-Blogi, *Miksi kiinteistön todellista tehontarpeen tarkastamista ei vaadita tehtäväksi uusiutuvan energian projekteissa voimassa olevan asetuksen mukaisesti*, Metropolia AMK, Helsinki, 7.4.2021.
- (16) Stammeier, Ecoreal Oy, *Energiakatselmus*, 9.4.2021.
- (17) Pennanen & Repo, *Kiinteistönhoidon osto-opas*, Kiinteistöalan kustannus, 2017.
- (18) EG Enerkey, *Energiaseurantajärjestelmä*
- (19) D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet 2007, Ympäristöministeriön, Asunto- ja rakennusosasto.
- (20) Kaappola, Talotekniikan YAMK-luentosarja, *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, Helsinki, Metropolia AMK, 2.10.2020, 20.11.2020.
- (21) Valkeapää, Talotekniikan YAMK-luentosarja, *Energian tuotanto, kierrätys ja varastointi lämpöpumpuilla*, Helsinki, Metropolia AMK, 18.4.2021.
- (22) SFS-EN 378-2:2016, Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset, Osa 2: Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/3/460996.html.stx> Luettu 1.9.2021.
- (23) Peltokorpi, Lapon Oy, *Energiakaivokentän mitoitusraportti*, 2.5.2022.

(24) Montrealin pöytäkirja otsonikerrosta heikentävistä aineista 66/1988,
[http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1988/19880066/
19880066_2#id2182596](http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1988/19880066/19880066_2#id2182596) Luettu 1.9.2021.

Kuva 1. St1, tarjottu Gebwell maalämpölaitteisto, maalämpöpumppu.

Gebwell Taurus 110 EVI lämpöpumppu

– IoT lämpöpumppu suurten kiinteistöjen lämmitykseen

Gebwell Taurus 110 on kahdella EVI-kompressorilla ja IoT säätimellä varustettu tandem lämpöpumppu suurten kiinteistöjen lämmitykseen.

EVI-kompressorien ansiosta lämpöpumpun antoteho on korkea myös korkeilla lauhtumislämpötiloilla. Kompressorin economizer tallettaa nestelinjasta jäävän hukkalämmön, jolla höyrytetään kylmäainetta kompressorin matalapainetilaa. Hyödyntämällä korkean lämpötilan korkea höyrystymislämpötila saadaan parempi hyötysuhde. Economizerin suorituskyky paranee korkeammissa lauhtumislämpötiloissa.

IoT säädin mahdollistaa järjestelmän käyttötietojen tallentumisen pilvipalveluun ja niiden hyödyntämisen järjestelmän kehityksessä.

Pilvipalveluun tallentuva data mahdollistaa muun muassa sääennusteen huomioivan säätötavan sekä kiinteistön lämpökapasiteetin ja lämmitys/viilennys käyttäytymisen oppimisen. Tulevaisuuden IoT palveluita ovat esimerkiksi ennakoiva huolto ja sääennusteen huomioiva säätö.

Pilvipalvelun ansiosta säätimen ohjelmisto voidaan päivittää etänä ja järjestelmää seurata ja ohjata verkkoyhteyden kautta selainpohjaisesta Gebwell Smart valvomosta. Mahdolliset ulkopuoliset rajapinnat muihin kiinteistönhallintajärjestelmiin ovat myös mahdollisia.

Taurus 110 lämpöpumppu varustetaan lisäksi tulistuksenpoistosäätimellä.

- Valmistettu Suomessa
- Helppohoitoinen ja varmatoiminen
- Tandem kahdella EVI-kompressorilla
- Elektroninen paisuntaventtiili
- Kovajuotetut levylämmönsiirtimet
- Osakuormilla huippuhyötysuhde
- Säädin IoT ominaisuuksilla
- Oppiva ja kehittyvä järjestelmä
- Seuranta ja ohjaus myös etänä Gebwell Smart valvomosta



Gebwell Taurus 110		
LVI-numero		5362645
Tehotiedot (EN 14511 mukaan)		
Lämmitysteho kW (0°/35° ja 0°/50°)	kW	93,6 ja 95,3
Viilennysteho kW (0°/35° ja 0°/50°)	kW	74,1 ja 68,0
Ottoteho (0°/35° ja 0°/50°)	kW	20,9 ja 29,1
COP (0°/35° ja 0°/50°)		4,5 ja 3,3
SCOP (0°/35° ja 0°/50°, EN 14825 mukaan)		5,1 ja 4,6
Lämmönkeruuneste		Denaturoitu etanoli 30 p-9%
Lämmönkeruunesteen nimellivirtaus	l/s	4,4
Suurin sallittu ulkoinen painehäviö nimellivirtauksella	kPa	108
Lämmitysjärjestelmän / Lämmönkeruupiirin maksimikäyttöpaine (verkoston paine huomiolltava)	bar	6 / 6
Lämmitysveden korkein menolämpötila	°C	0/+65 - +68 lauhduttimelta
Käyttölämpötila, keruupiiri	°C	-5...+20
Kompressorit		Scroll (EVI)
Kompressorien lukumäärä		2
Pehmökäynnistin		kyllä
Sisäänrakennettu latauspumppu		kyllä (taajuusmuuttaja)
Sisäänrakennettu maaliuospiirin pumppu		kyllä (taajuusmuuttaja)
Sähköliitäntä		400 VAC, 50 Hz, 3-vaihe
Sulakkeet	A	3x80
Sisältää fluorattuja kasvihuonekaasuja		kyllä
Hermeettisesti suljettu		kyllä
Kylmäaine		R410A
GWP (global warming potential)		2088
Kylmäaineen määrä	kg	9,8
CO ₂ -vastaavuus	ton CO ₂ /kg	20,462
Äänitehotaso	dB (A)	52-58
Mitat ja liitännät		
Ulkomitat (pituus x leveys x korkeus)	mm	1300 x 700 x 1860
Paino	kg	700
Lämpöjohtopiiri		DN50 - G2" uk
Lämmönkeruupiiri		DN50 - G2" uk
Tulistus		DN25 - G1" uk

Kuva 2. Tarjousvaiheen energiansäästölaskelma.

Yhteenveto

Energian/sähkönkulutus

Lämmityksen osuus	750000 kWh
Käyttöveden osuus	400000 kWh
Kiinteistön tehontarve lämmitykseen (MUT)	348,4 kW

Lämpöpumpun valinnan jälkeen

3 * TAURUS 110 EVI	
Reikien ehdotettu määrä ja syvyys	18 * 350 m
Energiaa lämpöpumpusta yhteensä	1145146 kWh/vuosi
Lisäenergia	4854 kWh/vuosi
Ostoenergia	324786 kWh/vuosi
Energiasäästöt	825214 kWh/vuosi

Asennus

Paikkakunta	Vyöhyke I (TRY2020)	
Ulkoilman keskilämpötila		5,8 °C
Mitoitusulkolämpötila (MUL)		-24,9 °C
Sisälämpötila		21,0 °C
Lämmitys pysähtyy		15,0 °C
Menoveden lämpötila (MUL °C)		65 °C
Paluuveden lämpötila (MUL °C)		40 °C
Energiankulutus		130 kWh/m ²

Tuoton tiedot

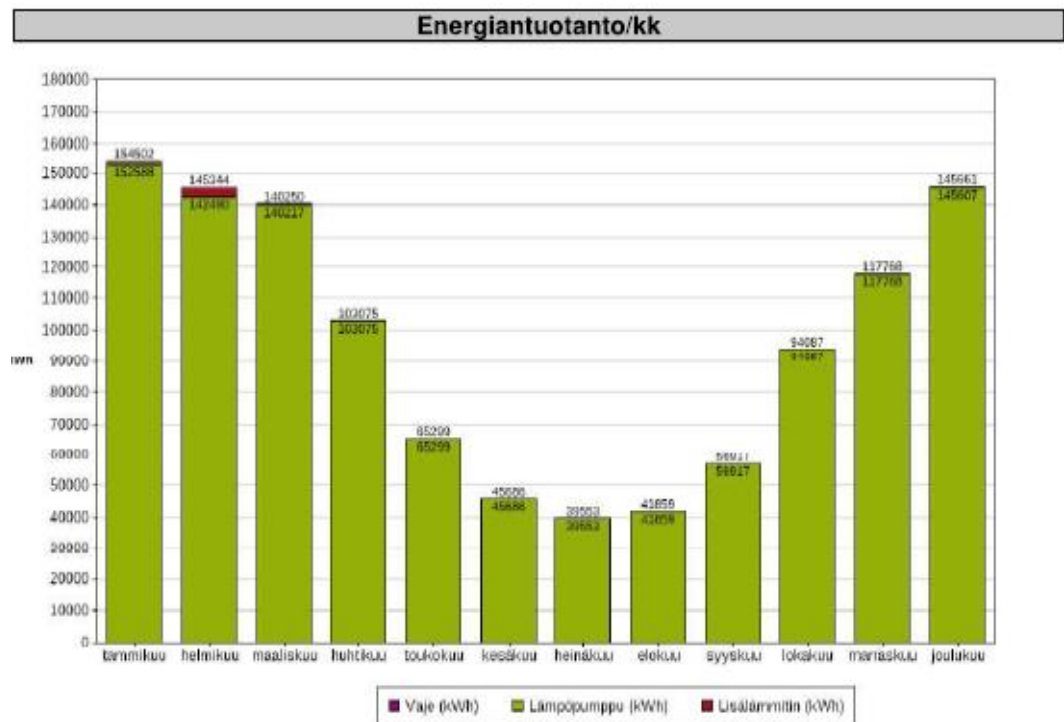
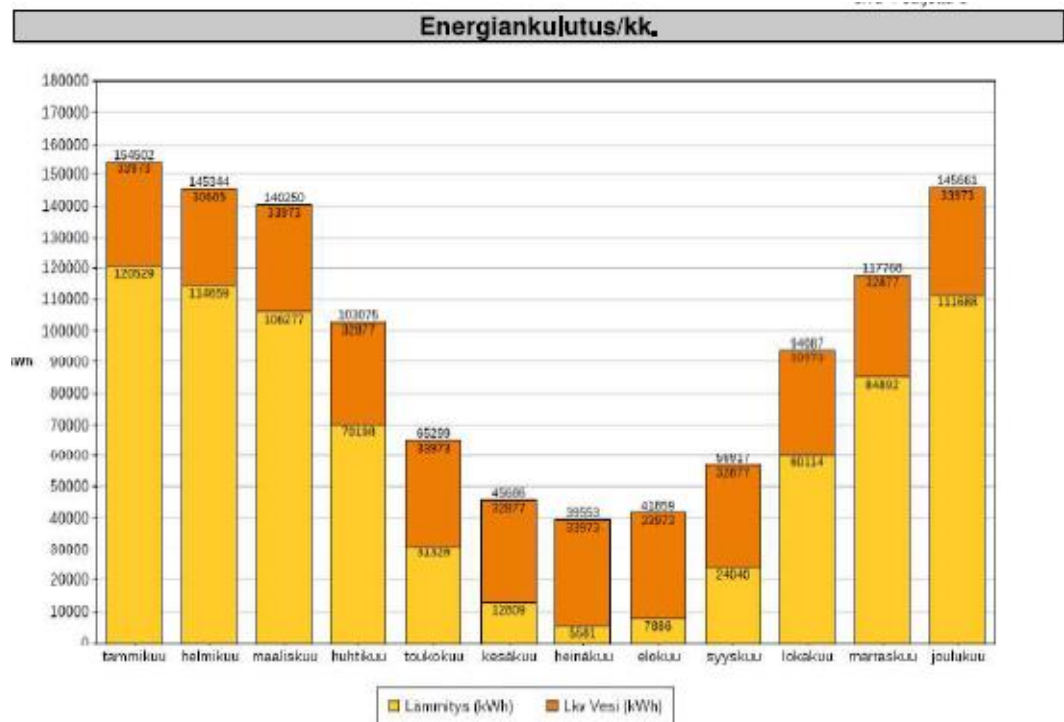
Energiatuotanto yhteensä	1150000 kWh/vuosi
Kokonaisenergian kulutus	324786 kWh/vuosi
Lisäenergian kuluttama energia (Lä)	4854 kWh/vuosi
Lisäenergian kuluttama energia (LKV)	0,00 kWh/vuosi
Tehonpeitto LP (MUL)	76,6 %
Energiapeitto	99,6 %
Vuosihyötysuhde	3,58
Maks. LP:n lämmitysteho MUL:ssa	302,0 kW

Kuva 3. Tarjousvaiheen lähtötiedot säästölaskelmaan.

Tiedot			
Projektitiedot			
Projektin nimi	Hoas Rantaharju 10	Muistiinpanot	
Rakennus			
Yritys			
Energian/sähkönkulutus			
Nettoenergiankulutus	1150000 kWh	Laskentamenetelmä	Tunnettu energiankulutus
LKV lämmitys	400000 kWh	Energia (tehokkuus)	Netto (brutto)
Sisälämpötila	21,0 °C	Kaukolämpö ($\eta=100\%$)	1150000 (1150000) kWh
Itselämmitys	6,0 K		
Lämmitetty alue A (lämp.)	2500 m ²		
Asennus			
Lämpöpumppu	3 * TAURUS 110 EVI	Paikkakunta	Vyöhyke I (TRY2020)
Lämmönlähde	Porakaivo	Mitoitusulkolämpötila (MUL)	-24,9 °C
Kallion tyyppi	Normaali	Ulkoilman keskilämpötila	5,8 °C
Johtavuus	3,30 W/m·K	Astelunnit	85904
Geometria	Viiva/L-muoto	Käyttöveden lämpötila	55 °C
Maks. syvyys	350 m		
Syvyys kallioon	10 m		
Etäisyys reikien välillä	20 m		
Reikien levityskulma	0,0 °		
Lisäteho	93,5 kW		
Toimintaparametrit			
Menoveden lämpötila (MUL °C)	65,0 °C	Tulevan keruunesteen lämpötila	2,0 °C
Paljuveden lämpötila (MUL °C)	40,0 °C	Keskimääräinen keruunesteen lämpötilaero	4,0 °C
Laskentatulokset			
Kiinteistön energiantarve	1150000 kWh	Porareian aktiivisyvyys	6117 m
Kiinteistön tehontarve lämmitykseen (MUT)	348,4 kW	Reikien ehdotettu määrä ja syvyys	18 * 350 m
Maks. LP:n lämmitysteho MUL:ssa	302,0 kW	Maksimi jäähdysteho LP	176,1 kW
Keskimääräinen teho käyttöveden lämmitykseen	45,7 kW	Maks. keruunesteen virtaus	10,5 l/s
Maks. LP:n lämmitysteho (käyttövesi) MUL:ssa	299,1 kW	Kokonaisjäähdytysenergia LP	825214 kWh/vuosi
Tehonpeitto LP (MUL)	76,6 %	Teho kaivosta	28,8 W/m
Energiapeitto	99,6 %	Energian otto kaivosta	134,9 kWh/vuosi/m
Lämpöpumppujärjestelmä ottoteho (LP+LE)	215,0 kW		
LP maksimi teho (-24,9°C ulkolämpötilassa)	302,0 kW		
Käyttöaika ¹	3792 h		
LP toiminta-aika (lämmitys)	2525 h		
LP toiminta-aika (käyttövesi)	1337 h		
Vuosihyötysuhde	3,58		
SCOP 2 (järjestelmä) ²	3,54		
Energiaa lämpöpumpusta lämmitykseen	745146 kWh/vuosi	Lämpöpumpun kuluttama energia (Lä)	186064 kWh/vuosi
Lisäenergian kuluttama energia (Lä)	4854 kWh/vuosi	Lisäenergian kuluttama energia (Lä)	4854 kWh/vuosi
Energiaa lämpöpumpusta käyttövetä varten	400000 kWh/vuosi	Lämpöpumpun kuluttama energia (LKV)	133968 kWh/vuosi
Lisäenergian kuluttama energia (LKV)	0 kWh/vuosi	Lisäenergian kuluttama energia (LKV)	0 kWh/vuosi
Energiantuotanto yhteensä	1150000 kWh/vuosi	Kokonaisenergian kulutus	324786 kWh/vuosi
		Kokonaissähköenergian kulutus	324786 kWh/vuosi
		Sähkö ($\eta=100\%$) lisäenergia	4854 kWh/vuosi
		Energiankulutus	130 kWh/m ²
Energiasäästöt			
Bruttosäästöt ostetusta energiasta	825214 kWh/vuosi		
	825214 kWh/vuosi		

¹ Käyttöaika on todellisen kiinteistön lämmitysenergian määrä ja maksimi tehon määrän välinen suhde² Energiasäästö on käyttökeittosen ja kokonaisten ostettujen energian välinen suhde, mukaan lukien lämmitys

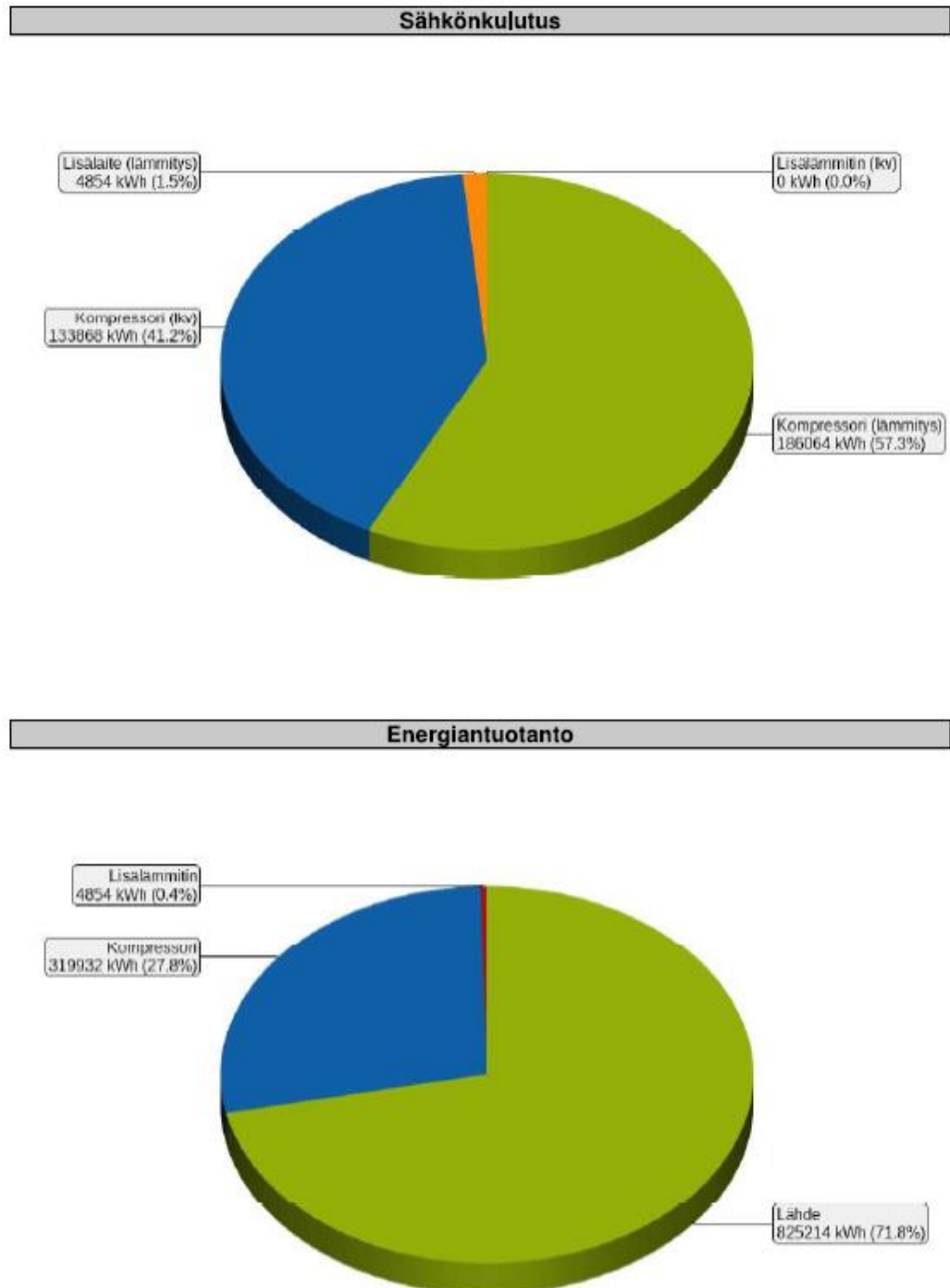
Kuva 4. Tarjousvaiheen kulutusjakaumalaskelma.



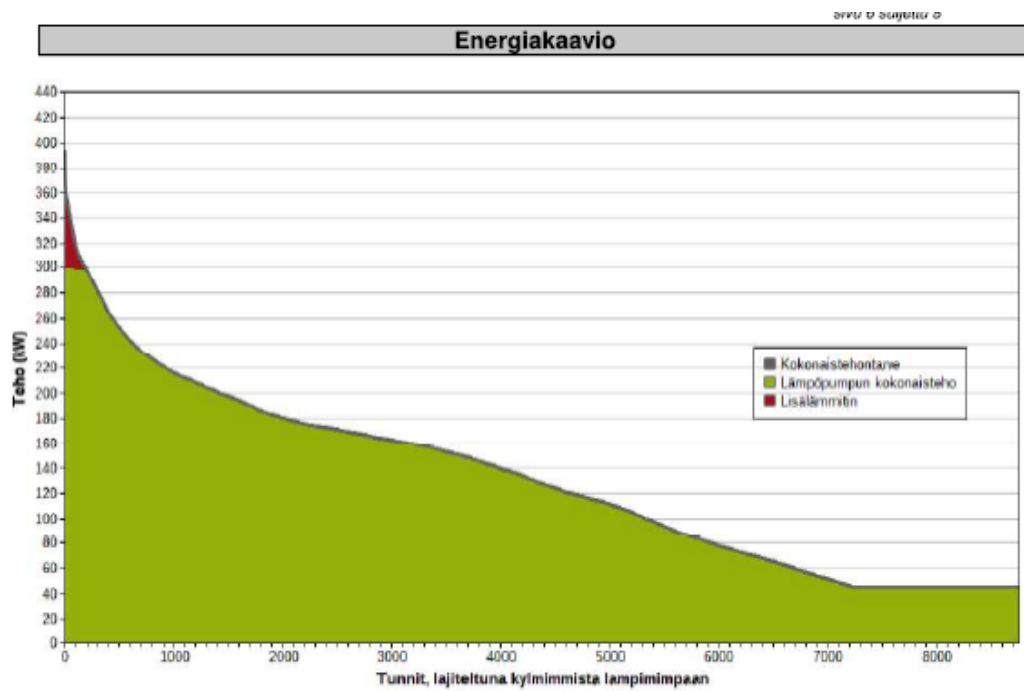
Yksiköt laskelmista ovat arvioita, eikä niitä saisi pitää lupauksena. Ilmaston, rakennusolosuhteiden ja rakennuksen käytön muutokset vaikuttavat tuloksiin.
 Meteorological data Nowatb=2016.

COPCALC for Gebwell - COPCALC™ b-0127 (2.00pre-0127) / Laskelman laatus: XD8CHSFMDRWK / 2021-06-02 13:58:42

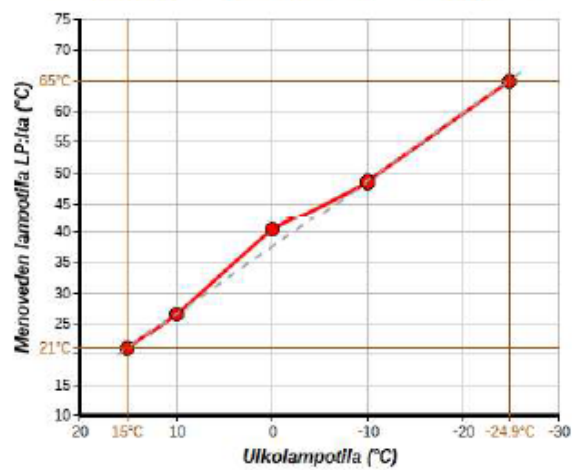
Kuva 5. Tarjousvaiheen sähkönkäytön ja sähkötehon laskelma.



Kuva 6. Tarjousvaiheen vuoden energiankäytön jakauma.



Lämmityskäyra, menoveden lämpötila



Alkuinvestointitaulukko

R10 / HOAS					Liite 2
Kustannusennuste:	ALKUINVESTOINTITAUUKKO				
Taukkoa voi jatkaa UR tarjouksien mukaan.					
	Alv 0%	Ennuste, tehdään alkuun.			UR hinta
	€/m	€/kpl	€/vuosi	€	
Maalämpöprojekti					
Projektinjohto, valvonta ja suunnittelu					
Urakoitsijan projektinjohto ja valvonta					
Tilaaajan projektinjohto ja valvonta					
Lupa-asiat / korvaukset					
- viranomaislausunto					
- lupa-anomusten teko					
- lähtöhinta					
- tiedottaminen, asumishaittakorvaukset					
- Tilasuunnittelu, piha-asuunnittelu, lupa-arkkitehti					
Purkutyt					
Purkutyt, aikakustannus					
- työkulut, rakennus, LVI - sähkö					
Materiaalit - jätemaksut					
Lämpökatkot ym.					
Muut kulut (kaukolämpölaitteiden ym purkaminen)					
Maakentäsuunnittelu					
- TRT Mittaukset					
- EED Laskenta					
Maalämpökaivot					
- Alustava tehollaskenta kaivot a kpl ja yht.					
- urakkahinta (280-300m *25-30 kaivoa)					
- sisältää pystytösten nesteet - bioetanoli - naturetti					
- pehmeeporaus 69 €/1m					
- raportin teko ja tarkkailu					
- putkitus (mahdollinen, 100€/m*metrit*kaivojen lkm)					
- jatkuva veden tarkkailu					
- keräyskaivot ja niiden yhdistäminen eli vaakavedot					
- Maakaivuut, vakaaputket ja kokoojakaivot					
- Maisemoinnit / pihatyöt, nurmi ja kävelvyväylät					
- Asfaltti ja kivetysket, betonilaatat					
- Pihaturvallisuus, aidat sekä tiedottamiset ym.					
- putket + sulut ja LSV					
- 3 kaivon jakotukkiryhmit					
- täyttöryhmit					
- Nesteytykset, yli 1 € / litra * 650 l -vaakaputki - 40 dm/1 litra					
- asennukset					
Lämpöpumppu koneet					
- lev 600 - syv. 840 - kor. 110 +jal.					
- ulkoinen liuospumppu - kannakkeet					
- erilliset täyttöryhmit					
- asennus					
- Nesteytykset, kaivot + vaakaputket					
- Paisunta-asiat - 50 dm3/s - tarkasta 4 ast.delta.					
- asennusmateriaalit ja takaiskut					
Lämmitysverkosto					
- Lämpöpumpun ja automaatiikka					
- asennusmateriaalit					
- Eristystyöt					
- asennukset					
- paisunta-astiat					
Lämmin käyttövesiverkosto					
- Pumpun ja säädin, sekoitusryhmä					
- Lämmönsiirtolaajaja, säiliöt sekä tulistukset					
- Asennusmateriaalit - putket					
- Eristystyöt					
- Asennukset					
Maavilleä					
- Viilennyksen siirrin.					
-Viilennyksen shunttiryhmä					
Sähköt					
-Uusi sähkönsiirtosopimus (toimittaja)					
- Uusi sähkönsiirtokaapeli (urakka)					
- Uusi sähkökeskus asennettuna (urakka)					
- Uusi sähkökaapeli (-) asennettuna					
- Maalämpöpumppujen ja varaussäiliöiden sekä lataussäiliön sähköistykset.					
- MODBUS - tiedonsiirto, kiinteistön automaatioon.					
Rakennustekniset aputyöt					
- LVI laajentaminen					
- Läpiviennit, RAK työt, laitteiston aputyöt.					
- RAK insinöörin läpivientien reikäsuunnittelu					
Kustannusennuste, materiaalkustannukset, investoinnit					
Yhteensä					
Riskivaraus					