



Emma Kajander

Maalämpöpumpun kuluttajalähtöinen optimointi uudessa pientalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

6.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Emma Kajander
Otsikko:	Maalämpöpumpun kuluttajalähtöinen optimointi uudessa pientalossa
Sivumäärä:	45 sivua + 5 liitettä
Aika:	6.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t):	Aki Valkeapää, Yliopettaja, Kiinteistö- ja talotekniikka, Metropolia AMK

Maalämpöpumpun käyttöönottoon liittyy paljon erilaisia parametrien asetuksia, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia maalämpöpumpun toimintaan. Tässä insinööriyössä tavoitteena oli selvittää erilaisten maalämpöpumpun toimintaan vaikuttavien parametrimuutosten vaikutuksia rakennuksen lämpötiloihin ja lämpöpumpun energiankulutukseen kuluttajanäkökulmasta.

Työ toteutettiin jakamalla lämmityskausi erilaisiin testijaksoihin, joiden aikana käytössä oli erilaisia parametreja ja aikaohjelmia. Testijaksojen aikana seurattiin aktiivisesti pörssisähkön kulutusta, hintaa, säätä sekä lämpötiloja rakennuksessa että lämmitysjärjestelmän sisällä.

Erilaisten testijaksojen dataa ja havaintoja koottiin yhteen noin yhden vuoden ajalta. Tulosten ja havaintojen pohjalta pyrittiin löytämään mahdollisimman optimaaliset parametrit ja toimintatavat maalämpöpumpun energiatehokkaaseen käyttöön. Energiankulutusta seuraamalla pyrittiin minimoimaan lämmityskauden asumiskustannuksia tinkimättä liikaa asumismukavuudesta.

Testijaksot osoittivat, että huolellisesti valituilla ja testatuilla parametrivalinnoilla voidaan pienentää maalämpöpumpun energiankulutusta. Testijaksojen tulokset olivat päinvastaisia laitevalmistajan ohjeistukseen verrattuna.

Työn tulokset voivat olla suuntaa antavasti sovellettavissa myös muissa vastaavan kaltaisissa kiinteistöissä, mutta sopivat parametrivalinnat ovat aina kohdekohtaisia. Loppukäyttäjän on näin ollen haettava omaan kiinteistöönsä sopivat parametrivalinnat kohdalleen seuraamalla muutosten vaikutuksia rakennuksen sisä- ja järjestelmä-lämpötiloihin sekä energiankulutukseen.

Avainsanat: Maalämpö, pörssisähkö, optimointi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Emma Kajander
Title: Consumer-oriented Optimization of Geothermal Heat Pump in New Single-family House
Number of Pages: 45 pages + 5 appendices
Date: 6 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Specialisation option:
Instructor: Aki Valkeapää, Principal Lecturer

The bachelor's thesis aimed at defining the best possible parameters for the operation of a ground source heat pump in a new single-family house. The goal was to optimize ground source heat pump's set up and parameters. The main goal was to save as much energy and costs as possible, without compromising the living comfort too much. The thesis adhered to a consumer-oriented perspective that any end user of a ground source heat pump can implement.

Various set ups and time limited test phases were used to establish suitable parameters. Data was collected with the remote control module of the existing ground heat pump. The energy consumption is monitored with a phone application from the electricity company and energy monitoring function of the pump.

The one year study proved that the use of time scheduled running times and optimized set up parameters can save a significant amount of energy and cost. The results are indicative – for a household using variably-priced electricity from the spot market.

Keywords: geothermal heat, ground heating, optimization

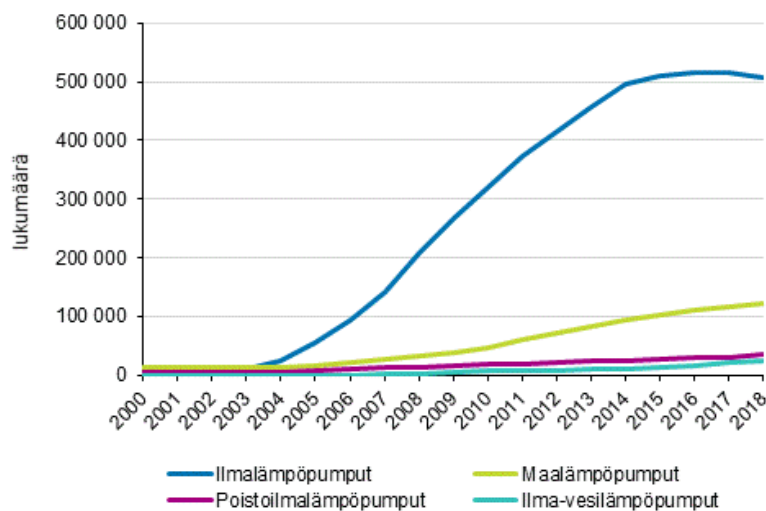
Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maalämpöpumpun toiminta	2
2.1	Kylmäprosessi maalämpöpumpussa	3
2.2	Maalämpöpumpun kylmäprosessi Log p,h -tilapiirroksessa	5
2.3	Häviötön prosessi log p,h-tilapiirroksessa	6
2.4	Kompressorit maalämpöpumpuissa	7
2.5	Esimerkkikohde	10
3	Seurannan aloittaminen vakioasetuksilla	11
3.1	Kevät- ja kesäaika 2023	11
3.2	Lämmityskausi alkaa	12
3.3	Alun ongelmat ja laiterikko	12
3.4	Sähkövastusten osuus lämmöntuotannossa	14
4	Kuluttajan keinovalikoima energian säästämiseen	15
4.1	Sisälämpötila-asetuksen vaikutus energiankulutukseen	15
4.2	Sähkösovimustyyppin vaikutus kokonaisuuteen	16
4.3	Käyttövesi	17
4.4	Lähtötilanne ennen aikaohjelmien käyttöönottoa	18
5	Aikaohjelmien käyttöönotto	19
5.1	Aikaohjelman lämpötilojen valinta	19
5.2	Ensimmäiselle testijaksolle valitut arvot	20
6	Ensimmäisen testijakson havaintoja ja pohdintaa	21
6.1	Asetusarvojen poikkeamat pumpun ja huoneistotermostaattien välillä	21
6.2	Liian alhainen sisälämpötilan asetusarvo pumpun lepoaikana	22
6.3	Lepoajan sisälämpötilan asetusarvon poistaminen kokonaan	23
6.4	Erillinen rakennus samassa lämmityspiirissä	24
6.5	Huoneistotermostaattien vaihdos	25
6.5.1	Vaihdoksen seuraukset	27
6.6	Ulkolämpötilan muutokset ja vaikutus asumismukavuuteen	28
6.7	Käyntitaukojen vaikutus laitteistoon	29

7	Toinen testijakso	31
7.1	Lämpötila-asetusten valinta toiselle testijaksolle	31
7.1.1	Lämmitysajan pidentäminen kahdella tunnilla vuorokaudessa	31
7.1.2	Yhden pidemmän lämmitysjakson lisäämisen vaikutukset	32
7.2	Trendiseurantaa testijaksojen sisällä	33
7.3	Säteilylämpö	34
8	Loppupäätelmiä	34
8.1	Aikaohjelmien vaikutus kokonaiskulutukseen	35
8.2	Aikaohjelmien vaikutus kustannusnäkökulmasta	35
8.3	Korkeampi ulkolämpötila yhtäjaksoisesti	38
8.4	Aikaohjelma lämmityskauden ulkopuolella	38
9	Yhteenveto	39
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1: Porausraportti	
	Liite 2: Laitteet	
	Liite 3: VitoConnect etäohjausyksikkö	
	Liite 4: Rakennuspiirustukset	
	Liite 5: Tehopeittolaskelma	

1 Johdanto

Maalämpö valikoituu uusien pientalojen lämmitysmuodoksi yhä useammin. Tilastokeskuksen mukaan maalämpöpumppujen määrä rakennuksen päälämmönlähteenä on kasvanut koko 2000-luvun. Kuvassa 1 havainnollistetaan maalämpöpumppujen hankintamäärien kasvu keltaisella käyrällä.



Kuva 1 Lämpöpumppujen lukumäärän kehitys 2000-luvulla myyntimääristä arviotuna (1.)

Elinkustannusten kasvettua sekä sähkön hintatason heilahdeltua viime vuosina merkittävästi herää oletettavasti myös maalämpöä hyödyntävien kotitalouksien kiinnostus oman järjestelmänsä mahdollista säästöpotentiaalia kohtaan.

Omaehtoinen tarve optimoida maalämpöpumppu toimimaan mahdollisimman energia- ja kustannustehokkaasti loi alkujaan aiheen tälle insinööriyölle. Tässä työssä pyritään löytämään mahdollisimman yksinkertaisia toimintatapoja ja asetuksia, joiden hyödyntäminen johtaisi insinööriyöntekijän omakotitalokiinteistön lämmitysenergiankulutuksen vähenemiseen ja sitä myöten rahallisen säästön syntymiseen asuinkustannuksia tarkasteltaessa. Kiinteistön energiakulutuksen vähentyessä vähentyy myös verkosta ostettavan sähkön määrä, jota maaläm-

pöpumppu tarvitsee käydäkseen. Pörssisähköä hyödynnettäessä energiankulutuksen vähentämisen lisäksi kokonaisuuteen vaikuttavat myös vuorokauden ajat, jolloin sähköä ostetaan verkosta. Painottamalla kulutusta edullisemmin hinnoitelluille tunneille voi konkreettisesti vaikuttaa maksamaansa sähkön keskihintaan.

Työ toteutetaan jakamalla lämmityskausi erilaisiin testijaksoihin, joiden aikana käytetään erilaisia maalämpöpumpun parametreja ja aikaohjelmia. Testijaksojen aikana seurataan aktiivisesti pörssisähkön kulutusta, hintaa, säätä, sekä lämpötiloja rakennuksessa ja lämmitysjärjestelmän sisällä.

Erilaisten testijaksojen dataa ja havaintoja kootaan yhteen. Tulosten ja havaintojen pohjalta pyritään löytämään mahdollisimman optimaaliset parametrit ja toimintatavat maalämpöpumpun energiatehokkaaseen käyttöön.

2 Maalämpöpumpun toiminta

Maalämmön toimintaperiaate on siirtää maa- ja kallioperään varastoitunutta lämpöenergiaa rakennuksen käyttöveden ja lämmityksen tarpeisiin. Lämmön-siirto maaperän ja lämpöpumpun välillä tapahtuu maaperään sijoitettujen liuosputkien välityksellä. Liuosputket asennetaan nykyisin yleensä porakaivoon, mutta tämän lisäksi putket voidaan myös asentaa vaakaputkistona lähelle maanpintaa tai esimerkiksi vesistöön. Porakaivon tapauksessa maaperään porataan syvyydeltään laskennalliseen arvoon pohjautuva lämpökaivo, jossa liuosputket kiertävät. Liuosputkien sisällä virtaava neste sitoo itseensä lämpöä maaperästä ja kuljettaa sen maalämpöpumpulle. Liuosputket on yleensä valmistettu polyeteenistä, joka on kestävä ominaisuuksiltaan sopiva materiaali. Maaperässä kiertävä liuosneste on useimmiten 70 % vettä ja 30 % bioetanolia. Nesteen kuljetettua itseensä sidotun lämmön maalämpöpumpulle pumppu siirtää talteen kerättyä lämpöä edelleen rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmittämiseen. (2.)

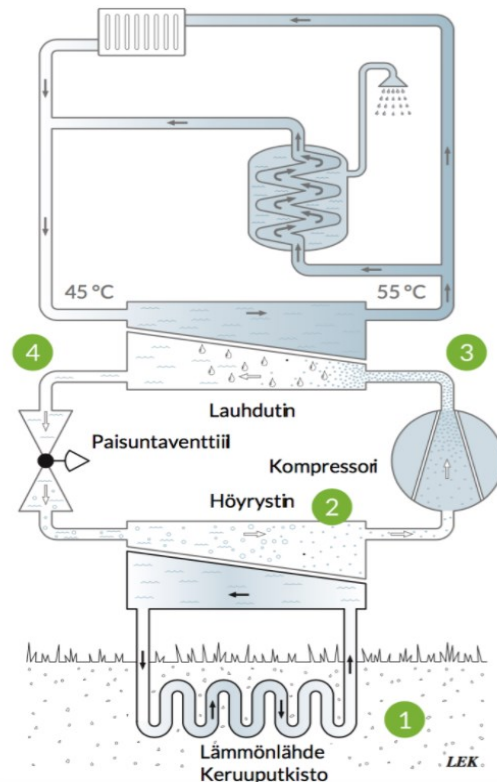
2.1 Kylmäprosessi maalämpöpumpussa

Putkistossa kiertävän lämmönkeruunesteen saavuttua maalämpöpumpulle kohtaa se ensimmäisenä höyrystimessä kylmäainepiirin. Maapiirin lämmönkeruuneste luovuttaa itseensä sidottua lämpöä kylmäainepiirissä kiertävälle kylmäaineelle, joka esimerkkikohteessa on laadultaan R410a:ta. Lämmönluovutuksen seurauksena kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteestä kaasuksi. Ennen kompressoria kylmäaineen annetaan tulistua höyrystimen loppuosassa 4–6 K. Tulistus vähentää nesteiskujen vaaraa kompressorissa. Tulistus on höyrystimen jälkeen mitatun höyryn lämpötilan ja höyrystymislämpötilan välinen lämpötilaero. (3.) Lämmönkeruuneste taas palaa takaisin kohti lämpökaivoa saapumislämpötilaansa verrattuna viileämpänä. (4.)

Kaasuuntunut kylmäainehöyry jatkaa matkaansa höyrystimeltä kompressoriin. Kompressorissa kaasua puristetaan kovaan paineeseen, jolloin myös lämpötila nousee merkittävästi. Puristustyön määrä ja saavutettava lämpötila riippuvat lauhdutinpaineesta eli tuotettavan veden lämpötilasta. Kompressorin jälkeen kylmäaine on korkeapaineista, tulistunutta höyryä, ja se siirtyy lauhduttimelle. Kompressorin ja lauhduttimen välillä kylmäaineesta poistuu ensin tulistus, ja sen jälkeen kylmäaine lauhtuu ja alijäähtyy muutaman asteen. (3.)

Lauhduktimella kylmäaine- sekä talon sisällä kiertävä vesipiiri kohtaavat. Lauhduttimessa kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteeksi, lauhduttimen luovuttaessa lämpöä lämmitysveteen tai lämpimään käyttöveteen. (3.)

Lauhduktimelta kylläinen neste jatkaa kiertoa paisuntaventtiilille, jossa paine alennetaan höyrystimen paineeseen. Kylmäaineesta osa höyrystyy jo tässä vaiheessa. Höyrystimelle siis siirtyy nesteen ja höyryn seosta ja kierto alkaa alusta. (5.) Kuvassa 3 havainnollistetaan maalämpöpumpun edellä kuvattua kylmäprosessia



Kuva 2. Maalämpöpumpun kylmäaineprosessi. (6.)

Höyrystymisessä, lauhtumisessa ja puristuksessa tapahtuu aina entalpiamuutos. Paisunta sen sijaan tapahtuu häviöttömässä prosessissa vakioentalpiassa. Kylmäaineen faasimuutoksissa hyödynnetään kylmäaineeseen varautunutta lämpösisältöä eli lämpöenergiaa. Lämpöpumpun tai kylmäkoneen kiertoprosessi on suljettu (ts. hermeettinen), jolloin se vastaanottaa ja luovuttaa vain energiaa eikä avoimen järjestelmän tavoin myös ainetta, kuten esimerkiksi voimalaitoksen kattila polttoainetta vastaanottaessaan. (7.) Esimerkkikohteen maalämpöpumpussa kompressori on malliltaan hermeettinen kierukkakompressori, josta on annettu tarkemmat tiedot kuvassa 4.

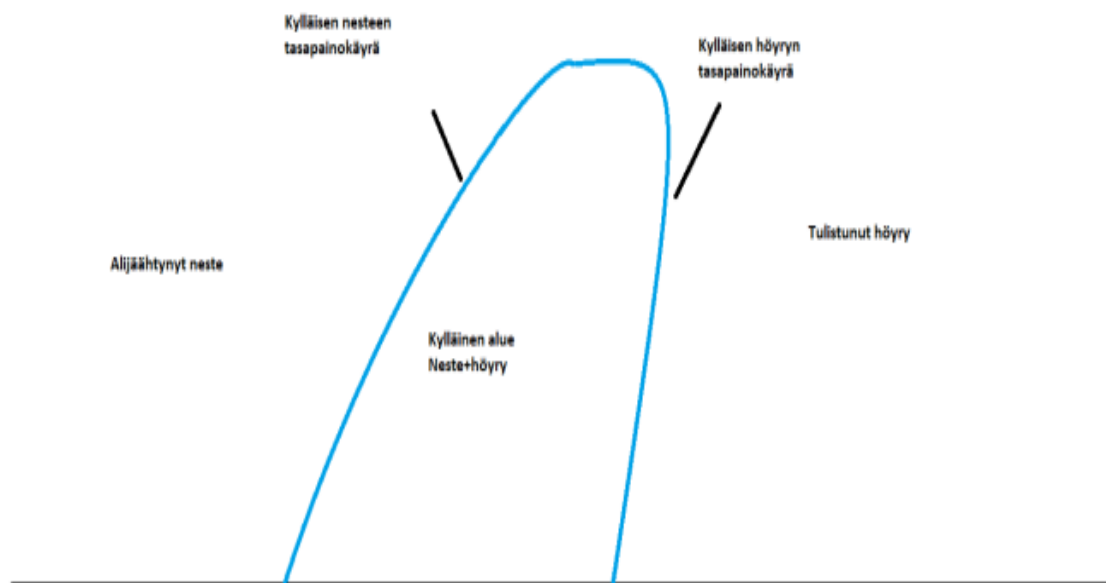
Refrigerant circuit		R410A	R410A
Refrigerant		A1	A1
- Safety group		A1	A1
- Refrigerant charge	kg	2.0	2.3
- Global warming potential (GWP) ⁸		1924	1924
- CO ₂ equivalent	t	3.9	4.6
Permiss. operating pressure			
- High pressure side	bar	45	45
	MPa	4.5	4.5
- Low pressure side	bar	28	28
	MPa	2.8	2.8
Compressor	Type	Hermetically sealed scroll compressor	
Oil in compressor	Type	Emkarate RL32-3MAF	
Quantity of oil in compressor	l	0.74	0.74
Oil quantity in oil separator	l	0.4	0.4

Kuva 3. Kylmäainepiirin ominaisuuksia esimerkkitilanteen maalämpöpumpussa. (4.)

2.2 Maalämpöpumpun kylmäprosessi Log p,h -tilapiirroksessa

Käytännön kylmäteknikassa kylmäaineen kiertoprosessi kuvataan usein log p,h -tilapiirroksessa. Kaaviosta, jossa pystyakselilla on paineen logaritmi ja vaakakselilla entalpia, voidaan nähdä tarkasteltavan kylmäaineen entalpia, entropia, lämpötila ja paine. Kylläisen kylmäaineen tapauksessa eri olomuotojen suhteelliset osuudet voidaan lukea kaaviosta prosessin eri vaiheissa. Log p,h -tilapiirrosta voidaan käyttää prosessin toiminnan tarkasteluun. Tilapiirroksen arvojen pohjalta voidaan muun muassa selvittää hyötysuhteen kuvaamiseen käytettäviä arvoja, kuten COP (Coefficient of performance). (8.)

Log p,h -tilapiirroksessa voidaan nähdä aineen olomuoto ja sen muutos prosessin aikana, kuten kuvassa 5 on yksinkertaistetusti esitetty. Lauhtuminen ja höyrystyminen tapahtuvat kylläiselle kylmäaineelle, puristus tulistuneen höyryn puolella ja lauhtumista seuraava alijäähditys alijäähtyneen nesteen puolella käyrää. (8.)

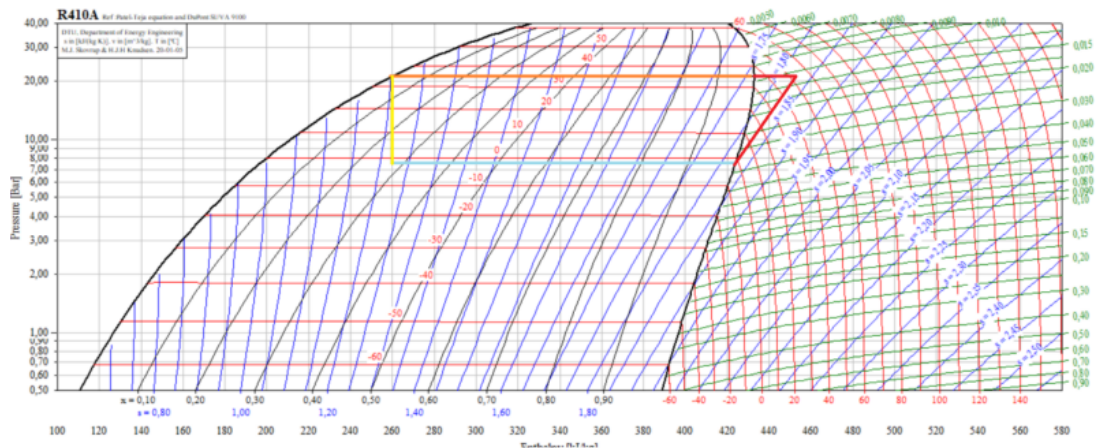


Kuva 4. Aineen olomuotoalueet esitettynä Log p,h-tilapiirroksessa. (8.)

2.3 Häviötön prosessi log p,h-tilapiirroksessa

Kiertoprosessia voidaan teoreettisesti tarkastella häviöttömänä. Esimerkki häviöttömästä prosessista on havainnollistettu kuvassa 6. Häviöttömässä kierto-prosessissa höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakioaineessa, eikä esimerkiksi painehäviöiden vaikutusta tällöin huomioida. Kuvassa 6 tarkastellaan esimerkkiprosessia kylmäaineella R410a. Kylmäaine alkaa höyrystyä lauhduttimessa noin -2 asteessa (sininen viiva). Huomataan, että kylmäaineen muuttuessa nesteen sekaisesta höyrystä puhtaaksi höyryksi sitoutuu kylmäaineeseen energiaa ja sen entalpia kasvaa noin 200 kJ/kg. Esimerkissä kylmäaine ei tulistu lainkaan, vaan sitä puristetaan kompressorissa kylmää höyryä ja se poistuu kompressorista tulistuneena höyryä, noin 52 -asteisena (punainen viiva ylöspäin suuntaava viiva). Puristuksessa entalpiamuutos on vain joitain kymmeniä kilojouleja kilogrammaa kohti. Tulistus poistuu ennen lauhdutusta (punainen vaakasuora viiva) ja kylmäaine muuttuu lauhduttimessa nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä (oranssi viiva). Lauhtumisessa kylmäaineen entalpia

jälleen pienenee noin 200 kJ/kg aineen ja lämpötilan pysyessä kuitenkin vakiona, tässä tapauksessa noin 35-asteisena ja noin 21,5 baarissa Keltainen viiva kuvaa paisuntaa, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila romahtavat vakioentalpiassa ja kylmäaine höyrystyy jo osin tässä vaiheessa. Paisunnan jälkeen kierto alkaa alusta. (8.)



Kuva 5. Häviötön esimerkkiprosessi kylmäaineella R410a. (Kuvaaja on tehty Coolpack-sovelluksella.) (8.)

2.4 Kompressorit maalämpöpumpuissa

Kompressorin tyyppi on merkittävässä roolissa, mikäli tarkastellaan maalämpöpumpua energiatehokkuuden ja käyttöominaisuuksien näkökulmasta. Esimerkikohteen Vitocal 333-G -maalämpöpumpussa on käytössä hermeettinen kierukkakompressor. (4.)

Scroll- eli kierukkakompressor on kompressorityyppi, jossa paine tuotetaan kahdella sisäkkäisellä kierukalla. Kierukoista toinen on kiinteä kierukka, jonka sisällä pyörii toinen kierukka epäkeskeisesti. Kierukat koskettavat toisiaan muutamasta kohdasta muodostaen perättäisiä kammioita, jotka pienenevät kiertymän mukaan. Laitetta käytetään nesteen ja kaasun pumppaukseen. Toiminta on viime vuosina saatu hyvin hiljaiseksi ja tehokkaaksi verrattuna kaikkiin muihin mekaanisiin kompressorityyppeihin. (9.)

Tätä kompressorityyppiä käytetään erityisen paljon ilmastointilaitteissa ja lämpöpumpuissa. Hiljainen käyntiäänensä on vahva kilpailutekijä kotitalouksiin hankittavissa laitteissa. Kompressorityypillä saadaan aikaan hyvin tasainen kaasun virtaus, jonka vuoksi kaikki muutkin sovelluksen osat toimivat myös tasaisemmin ja äänettömämmin. (9.)

Scroll-kompressorissa ei ole kylmäkompressorille tyypillisiä matalapaine- ja korkeapainepuolen venttiilejä. Jotkut valmistajat käyttävät kuitenkin korkeapainepuolella takaiskuventtiilejä. Voitelu ja tiivistys vaativat riittävästi öljyä ja välykset ovat hyvin tarkkoja. (9.) Esimerkkikohteen kompressorissa käytetään Emkarate RL32-3MAF -tyypin öljyä. (4.)

Kompressorityypillä saavutetaan lähes 100-prosenttinen tehokkuus kaasun tilavuuden siirrossa. Tämä ei ole samalla lailla teknisesti mahdollista muissa kompressorityypeissä, kuten liikkuvissa mäntäkompressorissa. Kierukkakompressorilaitteissa on myös vähemmän liikkuvia osia kuin muissa ratkaisuissa, mikä periaatteessa voi johtaa suurempaan luotettavuuteen. (9.)

Johtuen suuresta tehokkuudestaan, voidaan kierukkakompressorilla säästää myös energiaa. Tämän seurauksena niitä on alettu soveltaa lähes poikkeuksetta sekä uusimmissa ilma- ja maalämpöpumpuissa että kauppojen kylmäkoneissa. (9.)

Energiatehokkuuden parantamiseksi on kehitetty uudenlaisia kierukkakompressoreita, joiden sähkönottotehoa voidaan moduloida toimimaan osatehoillaan paremmin. Yleistavoitteena on pyritty optimoimaan kompressorin puristustyön määrä vastaamaan sen hetkistä todellista tehontarvetta mahdollisimman tarkkaan. (9.)

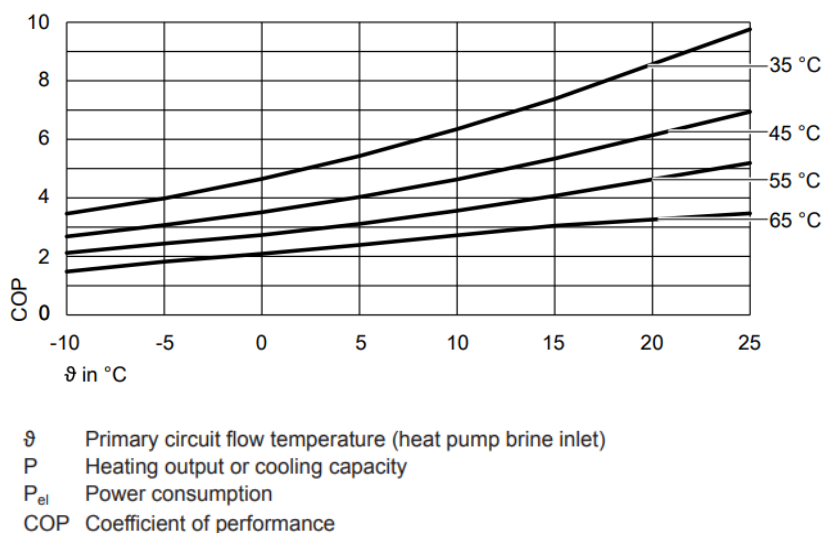
Tämän kehitystrendin tuloksena ovat syntyneet seuraavat kolme tekniikkaa:

- kuuman kaasun ohitus kahdella kompressorilla
- taajuusmuuttajaohjatut kompressorit
- digitaaliohjatut kompressorit.

Idealisena tavoitteena kaikissa edellä mainituissa tekniikoissa on ohjata mekaanisen puristustyön määrää mahdollisimman tarkasti, nopeasti ja portaattomasti. Energiansäästöä syntyy siitä, että osapuristustehoillaan sähköä kuluu kompressorissa suhteessa vähemmän. (9.)

Esimerkkikohteen kaltaiset taajuusmuuttajaohjatut kompressorit toimivat niin, että kierukkakompressorin kierrosnopeutta säädellään tietyissä rajoissa ohjaus-elektroniikan avulla. Tällöin nopeutta voidaan ohjata täysin portaattomasti tietyllä moottorin kierrätysalueella. Taajuusmuuttajaan perustuvat kompressorit voivat näin tuottaa tyypillisesti antotehoja alueella 40–100 %. Samalla kun kierrosnopeus laskee, alenee syöttöpuolen imupaine, ja lopputuloksena on pienempi paine myös antopuolelle. Taajuusmuuttajakompressoreiden suorituskyky (COP-kerroin) voi 50 %:n osatehojen käytössä parhaimmillaan nousta jopa 4–5-kertaiseksi verrattuna sen 100 %:n kuormaan. Taajuusmuuttajien etuna on myös alhainen ympäristömelu niiden käydessä alimmilla osatehoillaan. (9.)

Koska markkinat kasvavat hyvin nopeasti sekä kylmä- että lämmitystekniikassa, yhä useammat valmistajat kehittävät omia tuotteitaan hyödyntäen edellä mainittuja toimintatekniikoita. Yleensä kompressivalmistaja kykenee esittämään tuotteensa tueksi taulukot sen otto-, lämpö-, kylmätehoista ja näistä johdetusta lämmityskertoimesta (COP) erilaisissa käyttötilanteissa. (9.) Kuvassa 7 havainnollistetaan keruupiirin liuosnesteiden lämpötilan vaikutusta hyötysuhteeseen.



Kuva 6. Mitä lämpimämpää keruupiirin liuosneste on, sitä paremmalla hyötysuhteella esimerkkikohteen maalämpöpumppu toimii lämmityskäytössä (COP) (4).

2.5 Esimerkkikohde

Insinööriyössä esimerkkikohteena toimii työn laatijan oma 2023 valmistunut, EPS-harkoista rakennettu teräsbetonirunkoinen pientalo. Rakennuksen lämmitettävä kokonaisala on 213 m², joka muodostuu päärakennuksesta, päärakennuksen yhteydessä sijaitsevasta autotallista sekä erillisestä saunarakennuksesta.

Tässä insinööriyössä lämpökaivon syvyys on 220 metriä. Porausraportti löytyy liitteestä 1. Maalämpöpumppuna toimii Viessmannin Vitocal 333-G inverter 1,7–8,6kW. Lämmönjakelumuotona on vesikiertoinen lattialämmitys. Huoneistotermostaatit vaihdettiin seurantajakson aikana RBM nimisen valmistajan termostaateista Danfossin näytöllisiin BasicPlus2-tyyppisiin termostaatteihin. Jakotukkeihin on kytketty RBM-valmistajan toimilaitteet. Lisätietoja laitteista löytyy liitteestä 2. Maalämpöpumpun energiankulutusta seurataan pumpun omasta energiaseurantänäkymästä, sekä sähköyhtiö Väreän Väppi-sovelluksella. Maalämpöpumpun lisävarusteena käytetään Viessmannin VitoConnect -etäohjauksikköä, jolla pumppua pystytään ohjaamaan ja seuraamaan reaaliajassa puhelinsovelluksen avulla (liite 3).

Rakennus on energialuokaltaan passiivitalo. Valmiin rakennuksen tiiveysmitausta ei vielä ole suoritettu, joten energiatehokkuuslaskelma pohjautuu vielä toistaiseksi joko oletettuihin tai suunnitteluvaiheen arvoihin. Otteita rakennuksen pohjapiirustuksesta, sekä oleellisista rakenneleikkauksista löytyy liitteestä 4. Pumpputoimittajan kohteeseen laatimat tehontarve- ja tehopeittolaskelmat löytyvät liitteestä 5.

3 Seurannan aloittaminen vakioasetuksilla

3.1 Kevät- ja kesäaika 2023

Seurannan kohteena oleva maalämpöpumppu on asennettu ja kytketty rakennusaikaiseen käyttöön helmikuussa 2023. Vertailukelpoista energian kokonaiskulutusdataa on saatavilla sähköyhtiö Väreen Väppi -sovelluksessa huhtikuun 2023 alusta alkaen eli siitä alkaen, kun rakennukseen on muutettu sisään. Huhtikuusta syyskuun loppuun rakennusta ei ole lämmitetty, joten maalämmön osalta kulutus muodostuu lähinnä käyttöveden valmistuksesta. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiallisesti vain lämmitykseen ja sitä myöten ajallisesti aktiiviseen lämmityskauteen. Kuvassa 8 on laitenäkö kesäkaudelta.



Kuva 7. Maalämpöpumpun käyttövesipuolen energiankulutusta kesäkaudella. Kuvassa salama -symboli kuvastaa sähköverkosta ostetun energian määrää. Hanan kuvan vieressä oleva lukema kertoo taasen kokonaisuudessaan käyttöveden lämmittämiseen tarvittun energiamäärään. Käyttöveden hyötysuhde 2,7 vaikuttaa normaalilta. Valokuva maalämpöpumpun ohjauspaneelista.

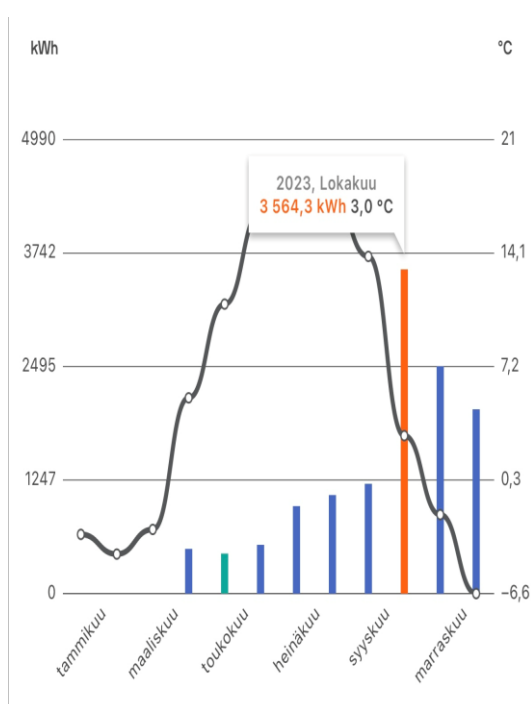
3.2 Lämmityskausi alkaa

Lokakuusta joulukuuhun 2023 kiinteistöä lämmitettiin ympäri vuorokauden ilman erillisiä aikaohjelmia. Maalämpöpumpun sisälämpötilan pyynniksi oli asetettu 21 astetta, kuten myös huoneistotermostaateissa.

3.3 Alun ongelmat ja laiterikko

Lämmityskausi alkoi esimerkkikohteessa lokakuun 2023 alusta. Kiinteistöä ehdittiin lämmittää noin viikon ajan, kunnes maalämpöpumpun kolmitieventtiili viikaantui. Tämän seurauksena käyttövesipuolelta pääsi virtaamaan liian lämmintä vettä läpi lämmitysverkoston puolelle. Viikkoa myöhemmin laitteesta rikkoontui myös invertteri.

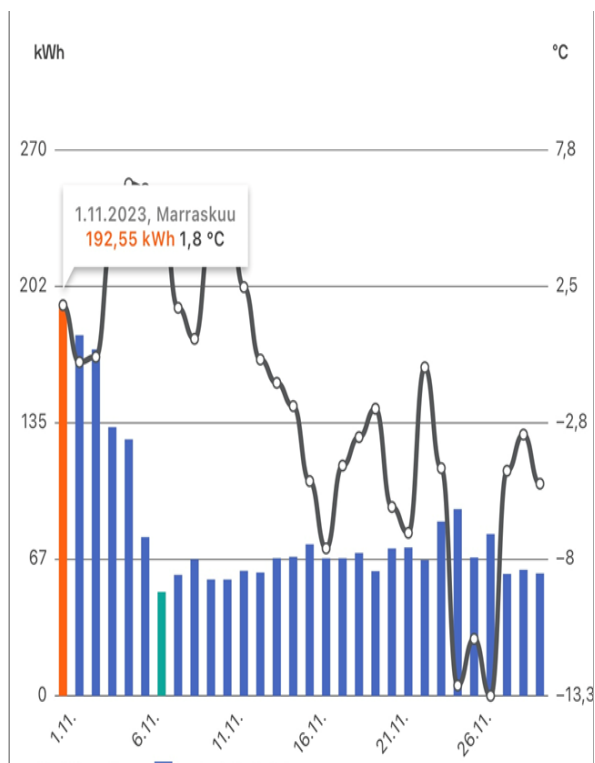
Maalämpöpumppu lakkasi tallentamasta energiankulutusdataa ajalta, jolloin invertteri oli epäkunnossa. Invertteririkon aikana kone lakkasi kokonaan hyödyntämästä lämpökaivosta saatavaa energiaa. Tämän seurauksena kaikki kohteessa tarvittava energia rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen tuotettiin yksinomaan pumpun sähkövastuksia käyttämällä. Pelkkä sähkövastuksilla lämmittäminen johti ostoenergian tarpeen huomattavan lisääntymisen. Vaikka maalämpöpumppu lakkasi tallentamasta kulutustietoja, on kulutustrendin kasvu havaittavissa selvästi sähköyhtiön Väppi-sovelluksesta. Kuvassa 9 kulutuksen nousua havainnollistaa oranssin värinen pystypalkki.



Kuva 8. Sähkönkulutuksessa on havaittavissa huomattava nousu lokakuun ajan, jolloin maalämpöpumppu käytti pelkästään sähkövastuksia. Kuvakaappaus Väppi-sovelluksesta.

Invertteririkko oli hyvin valitettava tapahtuma sähkölaskunsa maksavan kuluttajan näkökulmasta, mutta tämän opinnäytetyön kannalta tapaus tarjosi tietoa kokonaiskulutuksesta, mikäli maapiiri muuttuisi täysin hyödyttömäksi. Vastaava tilanne voisi tulla eteen, mikäli kaivo esimerkiksi jäätyisi liikaa ja pääsisi jäätymään. Tällöin rakennuksen lämmitys tapahtuisi pelkkien sähkövastusten avulla.

Tilanne olisi käytännön kannalta suoraan verrannollinen tilanteeseen, jossa rakennuksen pääasiallisena lämmönlähteenä olisi suorasähkölämmitteinen sähkökattila. Kuvan 10 kulutuskäyrästä on havaittavissa selkeä trendimuutos, kun maalämpöpumppu saatiin korjaustöiden jälkeen toimimaan jälleen normaalisti.



Kuva 9. Invertteri vaihdettiin uuteen 6.11.2023. Kuvassa on selvästi havaittava muutos sähkönkulutuksessa. Kuvakaappaus Väppi-sovelluksesta.

3.4 Sähkövastusten osuus lämmöntuotannossa

Maalämpökoneen sähköinen apuvastus kytkettiin kokonaan pois käytöstä joulukuun 2023 alussa. Lämpökaivosta saatava energia riitti kiinteistön tarpeisiin myös tarkkailujaksojen kylmimpinä ajankohtina.

4 Kuluttajan keinovalikoima energian säästämiseen

Lämpöpumpun säätömahdollisuudet ovat kaiken kaikkiaan hyvin kattavat.

Tässä työssä keskitytään kuitenkin kuluttajälhtöiseen näkökulmaan, jolloin valtuutettua huoltohenkilöä vaativat ohjelmamuutokset jätetään tämän työn ulkopuolelle.

Lähtökohtana oletetaan, että koodaustasojen takana olevat, huoltohenkilön toimenpiteitä vaativat perusasetukset ovat kunnossa. Asiat, joihin kuluttaja tai loppukäyttäjä voi omatoimisesti tehdä muutoksia, ovat

- huoneiston lämpötila-asetus
- lämpökäyrän taso ja jyrkkyys
- käyttöveden lämpötila
- ajastusohjelmat lämmitykselle ja käyttövedelle.

Lista voi tuntua lyhyeltä, mutta tarjoaa lopulta paljon työtä sopivien asetusten löytämiseen pelkästään kokeilemisen kautta. Jokainen rakennus ja kiinteistö on ominaisuuksiltaan erilainen, joten yksiselitteisiä ja kaikkialla toimivia arvoja ei yleisesti voida määrittää. Jokaisessa kohteessa toimivimmat kokonaisuudet joudutaan hakemaan tapauskohtaisesti. Lisäksi referenssidataa tarvitaan riittävä määrä riittävän pitkiltä ajanjaksoilta, jotta keskenään vertailukelpoisia päiviä löytyy eri asetusarvojen piiristä.

4.1 Sisälämpötila-asetuksen vaikutus energiankulutukseen

On arvioitu, että yhden asteen pudottaminen sisälämpötilapyynnistä pudottaisi lämmityksen energiankulutusta noin 5 % (10). Laitevalmistaja Viessmannin oma aineisto käyttää samassa yhteydessä 6 %:n arvoa. (11.)

Esimerkkikohteen maalämpöpumppu kykenee itsenäisesti laskemaan ja päivittämään omaa teoreettista hyötysuhdettaan (COP). Pumppu pystyy esittämään lämmityksen ja käyttöveden kattavan kokonaisyötysuhteen, tai vaihtoehtoisesti

molempien osa-alueiden hyötysuhde on tarkasteltavissa myös erikseen. Seurannan aikana hyötysuhde on asettunut talvikaudella arvoon 4,8. Edellä mainittu luku kuvaa yksinkertaistetusti sitä, että kuinka monta kilowattituntia energiaa maalämpökone pystyy teoreettisesti tuottamaan jokaista sähköverkosta otettua kilowattituntia kohden. Mikäli tapauksen pumppu ottaa sähköverkosta energiaa 1 kWh:n verran, pystyy pumppu maasta kerättyä lämpöä hyödyntämällä muuttamaan sen suuruudeltaan 4,8 kWh:n määräksi energiaa. Huonelämpötilan pudottaminen vaikuttaa sekä kaivosta, että sähköverkosta tarvittavan energian määrään vähentävästi.

4.2 Sähkösovimustyyppin vaikutus kokonaisuuteen

Kohteessa pyrkimyksenä on pienentää ostoenergian kulutusta ja sitä myöten kuluttajan sähkölaskuja. Yksinkertaisimmillaan vaihtoehtoiksi jää näin ollen luvussa 3.1 mainitun hyötysuhteen parantaminen tai energiantarpeen vähentäminen. Sisälämpötilan laskeminen vaikuttaa energian tarpeeseen vähentävästi.

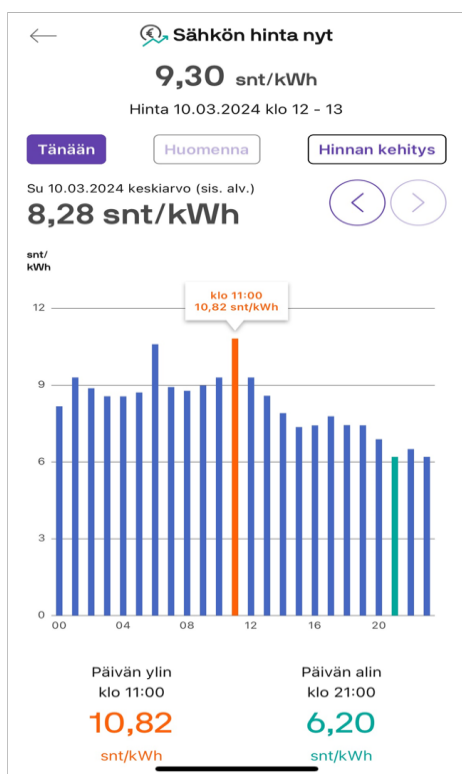
Pörssisähkösojimus

Esimerkkikohteessa on käytössä pörssisähkö. Sähkö hinnoitellaan tuntitasolla, jonka seurauksena hinta vaihtelee läpi vuorokauden. Esimerkki vuorokausikohtaisesta hintavaihtelusta kuvassa 11. Yleisesti pörssisähkön hinta on kalleimmillaan kovan kulutuksen tunteina arkisin ja edullisempaa yöaikana, sekä viikonloppuisin. (12.) Aikaohjelmointia suunniteltaessa on siis järkevintä painottaa maalämpöpumpun käyntiä nimenomaan edullisempaan yöaikaan.

Kiinteähintainen sähkösojimus

Yksinkertaisimmillaan kiinteähintaisessa sähkösojimuksessa sähkö on hinnoiteltu vakio hinnalla, joka pysyy samana vuorokauden ajasta riippumatta. Mikäli kiinteistössä on käytössä kiinteähintainen sähkösojimus, vaikuttaa sisälämpötilan laskeminen tässäkin tapauksessa kokonaisenergian kulutukseen. Aikaohjelmia voi hyödyntää lisäämällä pumpun lepotaukoja, jolloin verkosta ostetun säh-

kön määrä vähenee. Lämmityksen käyntiaikojen painottaminen yöaikaan pelkäästään kustannusten säästämiseksi on sen sijaan aiheetonta, ostetun energian hinnan pysyessä samana vuorokauden ympäri. Pumpun yökäytöllä voi tosin olla suuremmassa kuvassa muita yleishyötyjä, kuten sähköjakeluverkon kuormituksen tasapainottaminen esimerkiksi kylminä jaksoina ja suurimman kysynnän aikana.



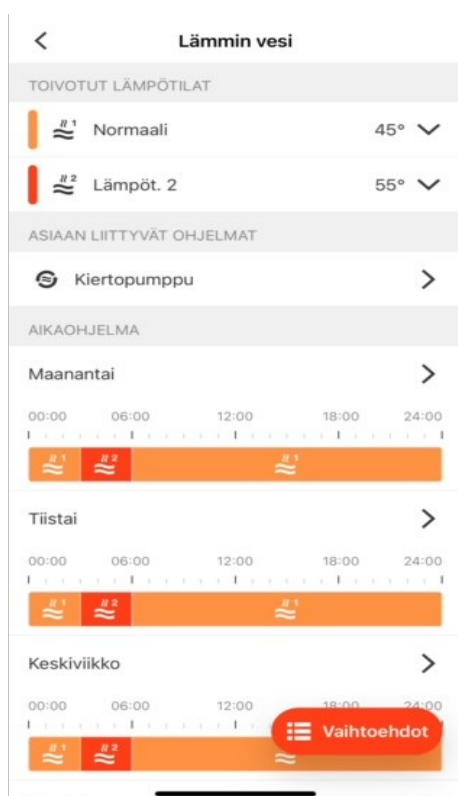
Kuva 10. Pörssisähkön hinnoittelua vuorokausitasolla. Kuvakaappaus Väppi-sovelluksesta.

4.3 Käyttövesi

Käyttöveden lämpötilaa muutettiin niin, että pyynti pudotettiin aiemmasta 55 asteen lämpötilasta 45 asteeseen. Aiempi 55 astetta perustuu legionellabakteerin lisääntymisen estämiseen vesijohtoverkostossa. Lämpötilaa pudotettiin testimielessä hetkellisesti alle ohjearvon, eikä sen pudottamista normaalikäyttöä ajatellen suositella missään olosuhteissa. Kuvassa 12 on esitetty laitenaikajärjestelmä käyttöveden aikaohjelmoinnista. Asetus määrää, että lämpimän veden pitää olla

55–65 asteista ja kylmän enintään 20 asteista. Suurin osa legionelloista tuhoutuu 50 asteessa muutamassa tunnissa. (13.)

Koska käyttöveden lämpötilaa ohjataan asetuksella, ei kulutuksen säätäminen lämpötilaa muuttamalla ole missään määrin suositeltavaa. Näin ollen jätän tässä työssä käyttövedettä käsittelevän osuuden pois loppupäätelmistä.

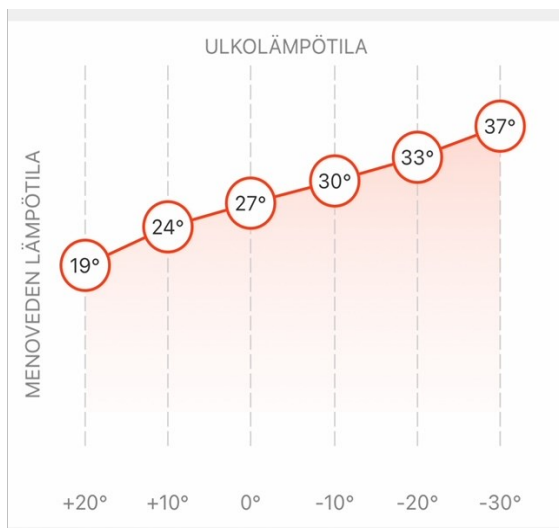


Kuva 11. Kuva käyttöveden aikaohjelmasta. Kuvakaappaus maalämpöpumpun ViCare-sovelluksesta.

4.4 Lähtötilanne ennen aikaohjelmien käyttöönottoa

Esimerkkikohteen lämpöpumppua oli pidetty vakioasetuksilla lokakuun alusta joulukuun loppuun. Vertailukelpoista dataa oli näin ollen saatu kerättyä usealta kuukaudelta. Vakioasetusten säätökäyrä on esitetty kuvassa 13.

Viessmannin ohjekirjassa todetaan, että lattialämmityskohteissa aikaohjelmien käyttö ei olisi tarkoituksen mukaista. (11). Ohjeen todentamiseksi tai kumoamiseksi käytännössä, pumppu päätettiin ohjelmoida toimimaan erilaisilla aikaohjelmilla 5.1.2024 alkaen.



Kuva 12. Lähtötilanteen lämmityksen säätökäyrä. Kuvakaappaus maalämpöpumpun ViCare-sovelluksesta.

5 Aikaohjelmien käyttöönotto

Perimmäinen ajatus oli, että yöaikaan rakennusta pyritään lämmittämään hieman yllämmön puolelle edullisemmilla pörssisähkötunneilla, jotta lattialaatta voi päivällä luovuttaa varastoimaansa lämpöä lämpöpumpun ollessa pysähdyksissä.

5.1 Aikaohjelman lämpötilojen valinta

Tammikuun 2024 ensimmäisellä viikolla suoritettujen, yksittäisten testivuorokausien pohjalta yölämpötilojen asetusravona 22 astetta ei vaikuttanut tuovan merkittävää lisäarvoa verrattuna esimerkiksi 21 asteeseen. Lattian betonilaatta lämpiää oletusarvoisesti hieman enemmän 22 asteen sisälämpötilapyynnillä, mutta huonelämpötilamittauksissa lopputulos ei näy.

Testausten aikana lämpötila on tarkasteltavissa jokaisessa huoneessa erikseen. Rakennuksen ollessa tässä tapauksessa uusi ja energiatehokas, huonelämpötila ei juurikaan pudonnut ensimmäisen vuorokauden aikana, sisälämpötilapyyntin ollessa ajastuksella asetettuna 16 asteeseen kello 5–23 välisenä aikana. Huonekohtaiset lämpömittarit kykenevät esittämään mahdolliset lämpötilamuutokset 0,5 asteen tarkkuudella.

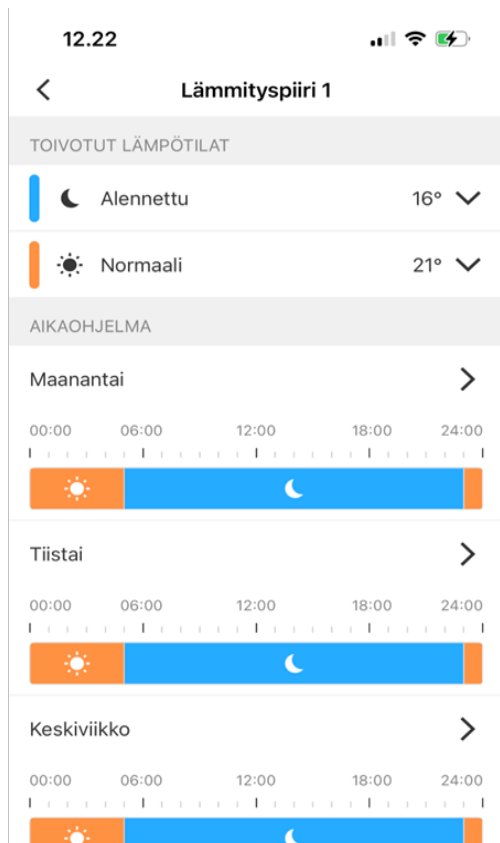
Eli yhteenvetona: Yöaikaisen sisälämpötilapyyntin voi asettaa joko 21 tai 22 asteeseen, eikä eroa siitä huolimatta ollut huoneistokohtaisessa lämpötilamittauksessa aamulla havaittavissa. Mikäli huonelämpötilaa tarkastellaan illalla uudelleen, kun lämmitys on ollut näennäisesti päivän pois päältä, on huonelämpötila edelleen sama kuin aamulla. Mahdollinen laatan lämpötilavaraus yhden asteen sisälämpötilan muutoksella ei siis pääse esille näin lyhyellä, vuorokauden mittaisella lämmityssyklillä konkreettisesti näkyviin.

5.2 Ensimmäiselle testijaksolle valitut arvot

Mikäli vielä palataan 5 % säästöajatukseseen yhden asteen sisälämpötilamuutoksessa, on tämän tiedon valossa ihan järkevää pitää yöpyynti 21 asteessa, mikäli vertailuarvona käytetään kohdassa 4.1 mainittua 22 asteen lämpötilaa. Päiväsaikaan asumisesta aiheutuva hyötylämpökuorma myös kompensoi osaltaan mainittua yhden asteen pudotusta.

Ensimmäisen aikaohjelman (kuva 14) asetuksiksi valikoituivat seuraavat arvot:

- sisälämpötila 21 astetta, ajastus kello 23–05 välisenä aikana (6 h)
- sisälämpötila 16 astetta, ajastus kello 5–23 välisenä aikana (18 h)
- testijakson kokonaispituus: 6.1–31.1.2024.



Kuva 13. Kuva vuorokauden ympäri ulottuvasta ohjelmoinnista. Kuvakaappaus maalämpöpumpun ViCare-sovelluksesta.

6 Ensimmäisen testijakson havaintoja ja pohdintaa

Ensimmäisen tekstijakson havaintoja ja pohdintaa on kirjattu seuraavien alaotsikoiden alle aikajärjestyksessä.

6.1 Asetusarvojen poikkeamat pumpun ja huoneistotermostaattien välillä

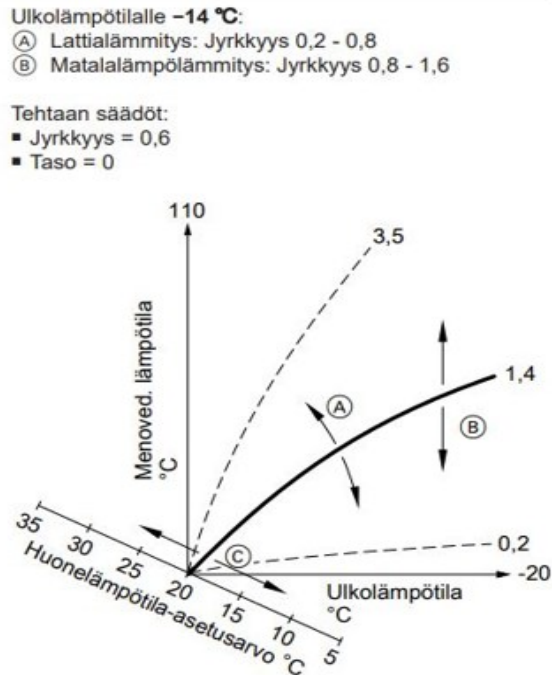
Maalämpöpumppu toimii sisälämpötilapyynnin osalta ajastettuna, mutta kohteen huoneistotermostaatit eivät ole ajastettavissa. Päiväsaikaan maalämpökoneen sisälämpötilapyynnin ollessa 16 astetta, todellinen huonelämpötila (21 astetta) ylittää pyydetyn huonelämpötila-arvon (16 astetta) ja paluuv veden lämpötilalukeman seurauksena kompressorin ei pitäisi käydä.

Lämpötilapyyntöissä on kuitenkin ristiriitaa huoneistotermostaattien ja koneen välillä, sillä huoneistotermostaatit eivät ole aikaohjelmoitavissa. Mikäli huoneistotermostaatit olisi asetettu samaiseen 16 asteeseen, jakotukkien toimilaitteet sulkisivat virtaamat aamuisin automaattisesti lämpötilan ollessa yli pyydetyn 16:sta asteen. Nyt huoneistotermostaattien pyynti on kuitenkin asetettu yölämpötilojen mukaiseen 21 asteeseen, jotta lämmitys pysyy öisin käynnissä ja piirit auki.

Päiväsaikaan lämmityksen olisi tarkoitus olla suljettuna matalan sisälämpötilapyyntin vuoksi, mutta todellisuudessa lattioissa pysyy edelleen virtaama käynnissä, ellei jokaista huonetermostaattia käy säätämässä joka aamu 16:sta asteen lämpötilaan niin, että pyynnit olisivat linjassa koneen pyyntin kanssa. Tämä aiheuttaa kohtuuttomasti vaivaa, mikäli jokainen tila tulee säätää koneen ajatusohjelman mukaiseen lämpötilaan edes takaisin aamuin illoin.

6.2 Liian alhainen sisälämpötilan asetusarvo pumpun lepoaikana

Kierron pysyessä edelleen päällä yllä mainitulla 16 asteen lämpötila-asetuksella voidaan todeta, että ratkaisu ei ole toimiva. Kun lattialaattaa on pyritty ensin lämmittämään tehokkaasti yöaikana, niin laattaa taasen jäädyttävän viileämmän veden kierrättäminen lattioissa päiväsaikaan ei ole missään määrin tarkoituksen mukaista. Tämän myötä heräsi kysymys, olisiko tehokkaampaa pitää vain kiertävän veden lämpötila vakiona, mikäli päiväsaikaan matalammalla 16 asteen pyynnillä virtaamaa lattioissa ei voida ilman jatkuvia toimenpiteitä katkaista. Mikäli aikaohjelmassa alennettu lämpötila-arvo on asetettu vieläkin reilummin alakanttiin, kuten esimerkiksi pakkasvahdin raja-arvoon, joka tässä tapauksessa on 10 astetta, lähtee kierto silloin suhteessa vieläkin viileämpää vettä, että lattialaatta alkaa jäähtymään jo tuntuvasti. Mikäli näin on, voi oletettu kustannushyöty muuttuakin suuremmaksi kulutukseksi. Väärillä asetuksilla lattialaatta lämmitetään öisin ja jäädytetään aiheuttomasti päivisin. Jäädytetyn laatan uudelleen lämmittäminen vie enemmän energiaa tasaisen lämpötilan ylläpitämiseen verrattuna. Tämä on syytä ottaa huomioon alennettua lämpötilaarvoa valittaessa, kuten myös kuva 15 havainnollistaa.



Kuva. 65

- (A) Kun muutat jyrkkyyttä:
Lämmityskäyrien kaltevuuskulma muuttuu.
- (B) Kun muutat tasoa:
Lämmityskäyrät siirtyvät yhdenmukaisesti pystysuoraan suuntaan.
- (C) Kun muutat normaalia huonelämpötilaa (huonelämpötilan asetusarvo):
Lämmityskäyrät siirtyvät akselilla "huonelämpötilan asetusarvo".

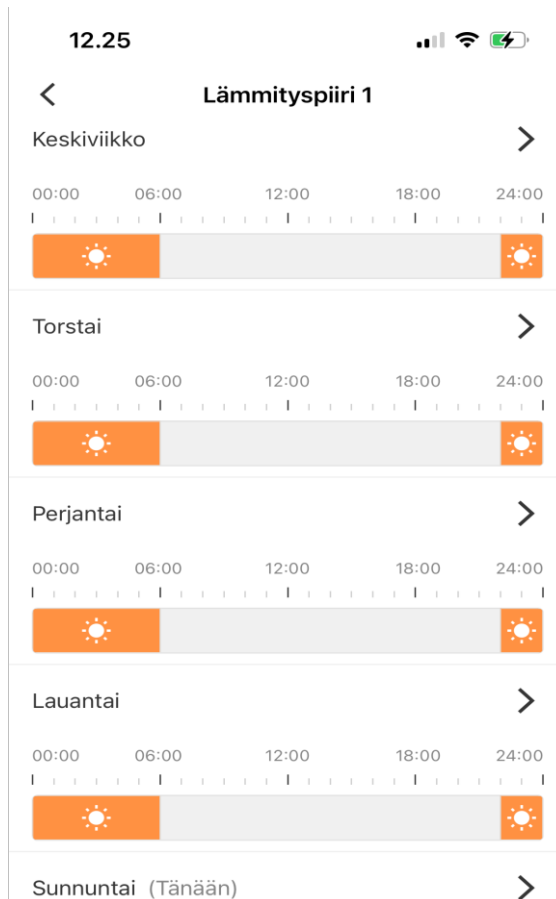
5710009

Kuva 14. Yllä esitetään huonelämpötila-asetuksen vaikutusta suhteessa kiertoon lähtevän veden lämpötilaan (11). Kuva vahvistaa kohdan 5.2 huomion, jossa liian viileä lämpötila-asetus voi johtaa laatan jäähtymiseen.

6.3 Lepoajan sisälämpötilan asetusarvon poistaminen kokonaan

Edellä mainittujen havaintojen pohjalta päädyttiin kokeilemaan koko lämpötila asetusarvon pois jättämistä. Näin ollen pumppu ohjelmoitiin toimimaan aikaohjelman mukaisesti yöaikana 21 asteen asetusarvolla, mutta päivisin aikaohjelmaa tai asetusarvoa ei määritely ollenkaan. Laitenäkymä esitetty kuvassa 16. Kokeilun seurauksena päiväsaikainen vesikierto lattioissa pysähtyi. Näin ollen aiemman kaltainen, aiheeton vesikierto ei enää tahattomasti jäädyttänyt yöllä lämmitettyä laattaa. Kompressori, lämmityksen kiertopumppu ja jakotukkien vir-

taamaindikaattorit pysyivät suljettuina. Rakennuksen jäähtymistä ei ensimmäisen vuorokauden kuluessa ollut havaittavissa, mikäli ulkolämpötilat pysyivät suhteellisen tasaisina. Pitkän aikavälin vaikutuksia tarkastellaan lopun yhteenvedossa.



Kuva 15. Kuva ohjelmoinnin ja asetusarvon poistamisesta. Kuvakaappaus maalämpöpumpun ViCare-sovelluksesta.

6.4 Erillinen rakennus samassa lämmityspiirissä

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa on päärakennuksesta erillään sijaitseva saunarakennus, jossa on lisäksi kellari (liite 4). Saunarakennus on toteutettu U-arvoltaan heikommalla harkkorakenteella, kuin päärakennus. Päärakennuksen harkkopaksuus 420 mm ja saunarakennuksen 320 mm. Lisäksi lämmönjako-

huone sijaitsee päärakennuksessa. Lämmitysputket kulkevat saunarakennukseen n. 25 metriä pitkässä eristetyssä kanaalissa. Saunarakennuksessa ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistolla. Raitisilma otetaan suoraan ulkoa. Päärakennuksessa lämpötilan pysyessä tasaisena ja miellyttävänä, on saunarakennuksessa selkeästi viileämpää. Kovilla pakkasilla lämpötilaero rakennusten välillä kasvaa entisestään. Keskiarvallisesti saunarakennus on noin 3,5 astetta päärakennusta viileämpi. Edellyttäen, että saunarakennuksen huippuimuri pidetään suljettuna ja annetaan ilman vaihtua ainoastaan painovoimaisesti. Mikäli huippuimuri kytketään normaalitilaan (Vilpe Eco Flow ohjaus), kasvaa lämpötilaero yli 7 asteen, vaikka lämmitys olisi päällä. Näin ollen huippuimuri on talvikaudella pidettävä pääosin suljettuna.

Tämän työn aiherajauksen vuoksi en käsittele ilmanvaihtoasiaa tässä yhteydessä enempää. Mikäli saunarakennuksen lämpötilaa haluttaisiin nostaa samalle tasolle asuinrakennuksen kanssa, ei pelkän sisälämpötilapyynnin nostaminen todetusti auta. Liiallisen ulospuhalluksen rajoittamisen lisäksi rakennusten välille jakautuvaa vesivirtaa tulisi tasapainottaa ja säätää, jotta tilanne saataisiin korjattua. Ilmenneiden ongelmien ja edellä esiintyvien päätelmien myötä, jätetään saunarakennuksen lämpötilojen käsittely tämän työn ulkopuolelle ja optimaalisia lämpötilan asetusarvoja haetaan vain päärakennuksen tarpeita tarkastellen.

6.5 Huoneistotermostaattien vaihdos

Tarkkailujakson aikana huoneistokohtaiset termostaatit vaihdettiin eri valmistajan malliin. Aiempi termostaattityyppi oli yksinkertaisempi, pelkästään pyöritettävällä säätökiekolla varustettu malli (kuva 17). Tilalle asennettiin Danfossin digitaalilla näytöllä varustettu versio, joka sisältää myös huonelämpötilanäkymän (kuva 18).



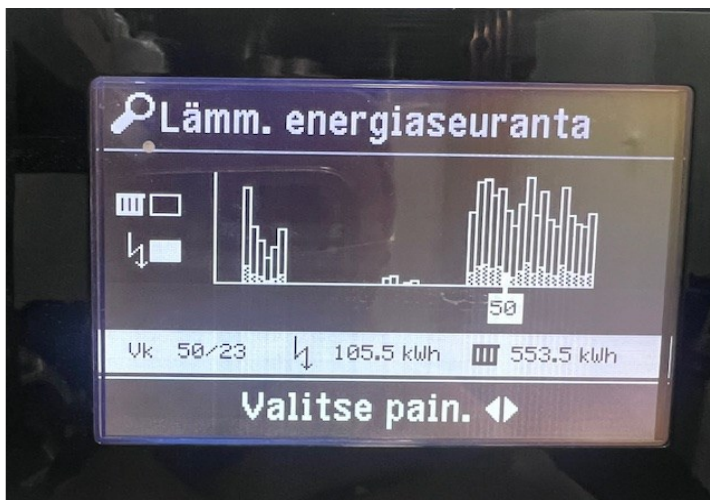
Kuva 16. Aiempi termostaattimalli, joka oli tarkkailujakson aikana käytössä huhtikuusta joulukuuhun.



Kuva 17. Digitaalisella näytöllä varustettu termostaatti, joka vaihdettiin korvaamaan yllä olevaa mallia.

6.5.1 Vaihdoksen seuraukset

Digitaalisen termostaatin lämpötilaan reagoiminen osoittautui edeltäjäänsä huomattavasti herkemmäksi. Aistinvaraisesti oli havaittavissa, että termostaattien vaihtamisen jälkeen huoneiden lattiat olivat useammin viileitä, vaikka asetettu lämpötilapyynti 21 astetta pidettiin samana. Tästä voinee päätellä, että digitaaliset termostaatit reagoivat halutun lämpötilan saavuttamiseen herkemmin ja sulkevat kyseessä olevat lämmityspiirit jakotukkien toimilaitteilta nopeammin. Havainto oli vahvistettavissa myös jakotukkien virtaamamittareista, joka kävivät nollassa aiempaa useammin, kun tilannetta havainnointiin useasti päivässä. Olennaisin seuraamus huoneistotermostaattien vaihdoksessa oli nähtävissä myös päivittäisessä sähkönkulutuksessa. Herkemmillä termostaateilla energiankulutustrendi lähti laskemaan. Vuorokausitason muutos oli keskiarvolta 2–5 kWh luokkaa. Laitenäkymä kulutuskäyrästä esitetty kuvassa 19. Ulkolämpötilaan vertailukelpoisten päivien määrä jäi testijakson aikana suhteessa vähäiseksi, joten näkemys perustuu laskevaan kokonaistrendiin ja arvioon.



Kuva 18. Kulutuskäyrälle merkitty viikko, jolloin termostaatit vaihdettiin. Valokuva maalämpöpumpun ohjauspaneelista.

6.6 Ulkolämpötilan muutokset ja vaikutus asumismukavuuteen

Tarkkailujaksolle mahtuu suuria muutoksia ulkolämpötilassa. Etenkin tammi-kuussa lämpötilan muutokset saattoivat olla merkittäviä lyhyen ajan sisällä. Kylmimmillään pakkasen kiristyi yli -20 asteen lukemiin, kun taas lauhtuessa lämpötila saattoi nousta $+4$ asteen tuntumaan.

Suuret lämpötilamuutokset aiheuttivat oletetusti hetkellisiä heilahduksia sisälämpötilassa järjestelmän reagoidessa viiveellä. Erityisesti asiaan kiinnitti huomiota pakkasen kiristyessä. Maalämpöpumpun ollessa levossa yli kaksi kolmasosaa vuorokaudesta, sisälämpötilan tasainen ylläpito ei ulkolämpötilan muuttuessa nopeasti aina toteutunut. Lisäksi halutun sisälämpötilan saavuttaminen muutoksen jälkeen kesti totuttua pidempään. Normaalitylanteessa pumpun käydessä kellon ympäri, sisälämpötila saavuttaa tavoitearvonsa viimeistään vuorokauden kuluttua. Tarkkailujaksolla tavoitelämpötilaan pääseminen vei keskimäärin kaksin- tai kolminkertaisen ajan normaalitylanteeseen nähden. Lisäksi mikäli kova pakkasen jatkui, ei pelkkä yökäynti riittänyt nostamaan rakennuksen uloimpien huoneiden lämpötilaa enää ylemmäs halutulle tasolle. Viiveestä ja mittauspisteestä huolimatta sisälämpötila ei kuitenkaan poikennut asetusarvostaan enempää kuin $2,5$ astetta, vaikka ulkolämpötilan osalta muutosta saattoi ilmetä 20 astetta parin vuorokauden sisällä.

$2,5$ asteen sisälämpötilan muutos olisi esimerkkikohteessa helppo kompensoida polttamalla varaavaa takkaa. Tässä työssä käsitellään aihetta käyntiaikojen ja pumpun asetusten näkökulmasta, joten takkaa ei poltettu testijaksojen ollessa käynnissä.

Vastavuoroisesti sään lauhtuessa nopeasti, varsinaista viiveestä johtuvaa yllämpenemistä havaittu. Nouseva ulkolämpötila oli lähinnä havaittavissa viileämpien, ulkoseinillä sijaitsevien huoneiden lämpötilan nopeammalla nousulla halutulle tasolle. Ennalta lämpimien huoneiden lattialämmityksen piirit pysyivät termostaattiohjauksen mukaisesti suljettuina myös pumpun ollessa käynnissä.

6.7 Käyntitaukojen vaikutus laitteistoon

Usein toistuvat käynnistykset rasittavat maalämpöpumpun kompressoria enemmän kuin tasainen käynti. Kun maalämpöpumpun käynnistymiskerrat harvenevat, maalämpöpumpun kompressori kuluu vähemmän ja kompressorin käyttöikä pitenee. (14.) Maalämpöpumpun käydessä vain yöaikaan tarkkailujakson aikana, vähentyy sitä myöten myös kompressorin käynnistykset. Koska pumppu kompensoi päivällä menetettyä lämpöä, joutuu se työskentelemään pidempää jaksoa öisin. Kompressorin kokonaiskäyttötuntien kertymisessä ei sen sijaan ollut merkittäviä eroja, kävikö pumppu yhtäjaksoisesti vuorokauden ympäri vai aikaohjelmalla öisin.

Käyntijakson ollessa tauolla päiväsaikaan, pääsee myös lämpökaivo lepäämään. Kaivon lämpötilat poikkeavat lepoajan ja käyntiajan päättyessä huomattavasti toisistaan. Lepoajan kuluessa kaivon lämpötila ehtii nousta korkeammaksi. Näin ollen pumpun taas käynnistyessä, on kaivossa hetkellisesti enemmän lämpöenergiaa hyödynnettävänä. Kuvissa 20 ja 21 on esitetty erilaisten tilanteiden liuoslämpötiloja laitenäkymässä. Kaivon lepuuttamisessa on kuitenkin syytä huomioida järjestelmäkohtaiset erot. Mikäli kaivoa lepuutetaan, jäätymisriski pienenee hetkellisesti, sillä kaivon lämpötilat alkavat heti tasaantua. Kaivon jäätymiselle altistavat erilaiset tekijät, kuten maalämpöpumpun suuri teho suhteessa kaivon syvyyteen, sekä ympäristön olosuhteet ja lämpötila. Mikäli kaivo pääsee jäähtymään liikaa, saati jäätymään kokonaan, on sen luonnollista sulamista odoteltava kenties kevääseen saakka, kunnes maaperä ja ilma lämpenevät riittävästi sulattamaan kaivon. (15.)



Kuva 19. Kaivosta palaavan liuoksen lämpötila +1,8 astetta viikon mittaisen, yhtäjaksoisen käytöksen lopussa. Valokuva maalämpöpumpun ohjauspaneelista.



Kuva 20. Kaivosta palaavan liuoksen lämpötila +4 asetta. Kuva otettu 18 tunnin lepojaksen jälkeen, noin 40 minuutin kuluttua koneen uudelleen käynnistämisestä. Valokuva maalämpöpumpun ohjauspaneelista.

7 Toinen testijakso

7.1 Lämpötila-asetusten valinta toiselle testijaksolle

Tammikuulta kerätyn mittausdatan ja asumismukavuuden kokemuksen pohjalta päädyttiin muuttamaan pumpun käyntiaikoja ja pyydettyjä lämpötiloja.

7.1.1 Lämmitysajan pidentäminen kahdella tunnilla vuorokaudessa

Aiemmassa osiossa pohdinnat käsittivät pääosin ensimmäisen vuorokauden kuluessa havaittuja vaikutuksia tasaisella ulkolämpötilalla. Aikaohjelman ollessa testijakson aikana tammikuussa käytössä yhtäjaksoisesti, pystyttiin myös pidemmän aikavälin tuloksia havainnoimaan. Kohdassa 4.1 mainitaan, että sisälämpötilassa ei juurikaan ollut havaittavissa muutoksia ensimmäisen vuorokauden kuluessa.

Mikäli tarkkailujakson aikaa pidennettiin edellä mainitusta, alkoi muutostrendi olla havaittavissa. Keskimäärin sisälämpötila laski yhdellä asteella kolmen vuorokauden kuluessa. Mikäli jakson pituutta jatkettiin edelleen, jatkoi lämpötila laskemista vielä 0,5 asteen verran. Näin ollen sisälämpötila asettui rakennuksen huoneesta riippuen keskimäärin 19,5 asteeseen. Kylmimmän jakso vallitessa rakennuksen uloimmassa nurkassa sijaitsevan makuuhuoneen lämpötila putosi muista poiketen suhteessa enemmän ja asettui 18,5 asteeseen. Rakennuksen huoneet, jotka sijaitsivat lähimpänä lämmönjakohuonetta, pysyivät lämpöisempinä huonelämpötilan asettuessa 20,5 asteeseen. Näistä lukemista pudotusta ei enää ollut havaittavissa, vaikka viikon tarkkailujaksoa pidennettiin, tai ulkolämpötila kylmeni. Rakennuksen keskivaiheilla sijaitsevassa olohuoneessa ja keittiössä lämpötila oli kylmimmillään 19,5 astetta. Kyseisissä tiloissa oleskellaan eniten, joten muutos oli fyysisenä tuntemuksena havaittavissa.

Koska suurimmillaan 2,5 astetta pudonnut sisälämpötila koettiin asumisen kannalta viileänä ja kylmempien jaksojen aikana (kohta 5.6) pyydetyn 21 asteen sisälämpötilan saavuttaminen ei pelkän 6 tunnin yökäynnin puitteissa onnistunut,

päädyttiin asetuksia muuttamaan. Lämmitysohjelman aikana tavoiteltava sisälämpötilan arvo pidettiin ennallaan 21 asteessa, sillä lämpötilamittausten pohjalta pelkällä yölämmityksellä perusteita sen nostamiselle ei ollut. Pumpun öistä käyntijaksoa sen sijaan pidennettiin kahdella tunnilla vuorikaudessa. Aiempi ohjelmointi piti pumpun lämmitystilassa kello 23–05 välillä, mutta muutoksessa käyntiaikaa pidennettiin tunnilla molemmista päistä, jolloin uusi käyntiaika ajoitui kello 22–06 välille.

Uudet asetusarvot aikaohjelmalle olivat näin ollen seuraavanlaiset:

- sisälämpötila 21 astetta, ajastus kello 22–06 välisenä aikana (8 h)
- sisälämpötila 16 astetta, ajastus kello 6–22 välisenä aikana (16 h)
- testijakson kokonaispituus: 1.2–17.2.2024.

7.1.2 Yhden pidemmän lämmitysjakson lisäämisen vaikutukset

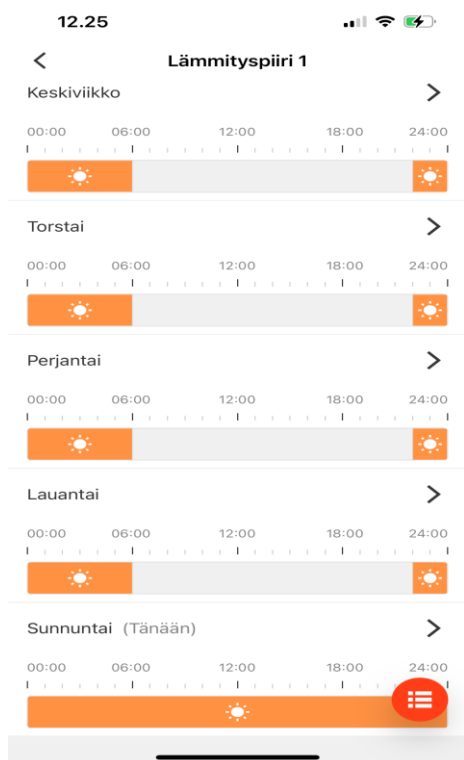
Helmikuun ensimmäisen viikon mittaisella tarkastelujaksolla minimilämpötilassa ei havaittu edelleenkään merkittävää nousua. Tarkkailun seurauksena käyntiaikaa päädyttiin lisäämään niin, että jokaisen viikon sunnuntailta poistettiin päivittäinen lepoaika. Tällöin pumpun lämmitystila käynnistyy lauantai iltana kello 22 ja jatkaa käyntiään maanantai aamun kello 6:n saakka, ollen näin lämmitystilassa yhtäjaksoisesti 32 tuntia. Edellä mainittujen asetusten seurauksena sisälämpötila pysyi keskimäärin 0,5 astetta korkeampana, asettuen näin rakennuksen keskeisissä osissa 20:n asteeseen aiemman 19,5 asteen sijaan. Sunnuntain pidemmän käyntijakson seurauksena sisälämpötila ehti saavuttaa asetetun 21 asteen tason ulkolämpötilasta riippumatta.

Asetukset 18.2 alkaen:

- sisälämpötila 21 astetta, ajastus kello 22–06 välisenä aikana (8 h)
- sisälämpötila 16 astetta, ajastus kello 6–22 välisenä aikana (16 h)
- testijakson kokonaispituus: 1.2–17.2.2024

- yksi lisätty pidempi käyntijakso: Lauantai kello 22 – Sunnuntai kello 6 (32 h).

Laitenäkömää yllä mainituilla asetuksilla on esitetty kuvassa 22.



Kuva 21. Kuva yllä mainitun mukaisesta aikaohjelmasta. Kuvakaappaus maalämpöpumpun ViCare-sovelluksesta.

7.2 Trendiseurantaa testijaksojen sisällä

Tammi- ja helmikuun kuluessa suoritettiin lyhyinä jaksoina pienempiä muutoksia (+/-1 yksikkö) asetusarvoissa, mikäli sääennuste pysyi tasaisena 2–3 vuorokauden ajanjaksoja.

Maalämpöpumpun oma energiaseuranta tuottaa dataa viikkotasolla, joka on lyhyissä testijaksoissa liian pitkä tarkkailuväli. Väppi-sovelluksesta voi seurata kulutusta tuntitasolla. Väppi-sovelluksessa kulutuksen seurannan tarkkuus tuntitasolla on riittävä, mutta käsittää pelkän maalämmön sijaan koko kiinteistön käyttämän energiakulutuksen. Kokonaiskulutuksesta ei pysty erittelemään pelkkiä maalämmön kulutustietoja riittävän luotettavasti vuorokausi- tai tuntitasolla.

Testien ajaksi kiinteistön muu kulutus pyrittiin vakioimaan, mutta luotettavien lopputulosten kannalta virhemarginaali oli liian suuri. Lyhyiden kokeilujaksojen trendejä ei pienillä asetusmuutoksilla ollut juurikaan havaittavissa luotettavasti suuntaan tai toiseen. Edellä mainitun seurauksena, asetusten muuttaminen alle viikon mittaisten tarkkailujaksojen ajaksi ei ole jatkon kannalta tarkoituksenmukaista.

7.3 Säteilylämpö

Testijaksoihin perustuvan ja kokemuspohjaisen arvion perusteella käyntiaikaa voitaisiin lyhentää sitä mukaan, kun kevät etenee. Lämmitystarve pienenee ulkolämpötilojen noustessa, mutta edellä mainitun lisäksi auringon säteilylämpö vaikuttaa huonelämpötiloihin merkittävästi. Pääosin työn kannalta erityisen relevantit testijaksot suoritettiin keskitalvella, jolloin auringonvalo oli vähäistä. Kirkkainakaan päivinä säteilystä johtuvia mainittavia lämpötilaeroja ollut havaittavissa. Tarkasteltaessa tilannetta maaliskuun alun kevätauringossa, riitti jo yksi aurinkoinen päivä nostamaan sisälämpötilaa 1,5:llä asteella. 1,5:n asteen lämpötilan nousu riittää näin ollen kompensoimaan viikon testijakson aikana tapahtuvaa keskiarvon mukaista lämpötilan pudotusta, mikäli lämmitys on ajoitettu pelkästään yöaikaiselle kahdeksalle tunnille (22–06). Tässä työssä ei voida todistettavasti esittää sopivaa määrää käyntituntien vähentämisestä, sillä testijakson suorittaminen vaatisi vertailukelpoisia kuukausia, joita ei tällä hetkellä ole saatavilla. Näin ollen säteilylämmön vaikutuksia ei tässä käsitellä enempää.

8 Loppupäätelmiä

Tarkastelujakson aikana saatiin kerättyä tietoa kattavasti eri ulkolämpötilojen vaikutuksesta. Talvikaudella 2023–2024 ulkolämpötilojen vaihtelut olivat ajoittain jopa poikkeuksellisen suuria. Lisäksi erityisen kylmät pakkasjaksot saattoivat kestää useita päiviä, jolloin sisälämpötilan laskemisen tarkkailu saatiin ajoitettua pidemmälle jaksolle.

Koska työn tarkoituksena oli optimoida kulutusta myös kustannusnäkökulmasta, nousevat pörssisähkön suuret hintavaihtelut suureen rooliin. Tarkkailujaksolle osui tammikuun 2024 ennätyskallis vuorokausi, jolloin pörssisähkön hinta kipusi 2,35 €/kWh suuruiseen summaan kalleimmalla tunnilla. (16.)

8.1 Aikaohjelmien vaikutus kokonaiskulutukseen

Testijaksojen aikana oli selvästi havaittavissa, että maalämpöpumpun energian kulutus laski merkittävästi aikaohjelmia hyödyntämällä. Yksittäisiä ja ominaisuuksiltaan toisiaan vastaavia päiviä vertaamalla, oli energiansäästö vuorokaudessa 10 kWh:n luokkaa. Kuukausitasolla vaihteluväli oli suurempi, mutta edelleen selvästi havaittava. Mikäli tarkkailujakson puitteissa valittiin kaksi kuukautta, joiden keskimääräiset ulkolämpötilat muistuttivat mahdollisimman paljon toisiaan, valikoitui verrokkikuukausiksi joulukuu 2023 ja helmikuu 2024. Joulukuun 2023 keskilämpötila oli -6,6 astetta, helmikuussa 2024 keskilämpötila on -5,3 astetta. (17.) Joulukuussa rakennusta lämmitettiin ympäri vuorokauden ilman ajastettuja käyntikatkoja. Helmikuussa oli käytössä kohdassa 4.6 esitetty aikaohjelma. Kokonaiskulutuksessa oli näiden kahden kuukauden välillä havaittavissa yhteensä -270 kWh:n ero energiankulutuksessa. Esimerkkikohteessa edellä mainittu lukema kuvastaa 15,4 %:n muutosta.

8.2 Aikaohjelmien vaikutus kustannusnäkökulmasta

Helmikuussa 2024 pörssisähkön verollisen markkinahinnan keskiarvo oli 6,4 snt/kWh. (17.) Kohdassa 5.2 mainittu 270 kWh:n kulutus olisi näin ollen maksanut helmikuun markkinahinnalla 17,28 €. Tammikuussa pörssisähkö markkinahinnan ollessa keskiarvoltaan korkeampi (13,18 snt/kWh), olisi hintaa vastaavalle kulutukselle muodostunut 35,59 €. (17.) Kuukaudet eivät ole lämpötiloiltaan keskenään vertailukelpoisia, mutta mainitut summat antavat esimerkin syntyvän säästön suuruudesta euroissa, sähkön hinnan ollessa korkeammalla. Varsinaisen sähkön hinnan lisäksi Suomessa maksetaan myös sähkön siirrosta. Ostettavan sähköenergian vähentyessä, vähentyy samalla myös siirrettävän energian määrästä muodostuva siirtohint.

Ohjaamalla kulutusta vuorokauden edullisemmille tunneille, voi toiminnallaan vaikuttaa itse maksamaansa sähkön keskihintaan. Lämmityksen ollessa käynnissä pääosin vain yöaikana, vaikutti se henkilökohtaiseen keskihintaan alentavasti, mikäli tarkastelee verrokkina sellaisia kuukausia, jolloin aikaohjelmia ei oltu käytetty. Tässä tapauksessa tarkasteltuun omaan keskiarvohintaan vaikuttaa koko kiinteistön sähkönkulutus, eikä pelkästään maalämmön osuus. Pelkästään maalämpöpumpun kattavaa keskihintadataa ei tässä työssä ole saatavilla. Kiinteistön muuta sähkönkulutusta ei olla ohjattu vuorokauden edullisemmille tunneille. Tammikuussa pörssisähkön verollinen keskihinta oli 13,18 snt/kWh. Tammikuussa toteutunut oma sähkön keskiarvohinta oli taasen 12,59 snt/kWh. Mikäli vertailun vuoksi tarkastellaan sellaisia lämmityskauden kuukausia, jolloin lämmityksen aikaohjelmia ei olla käytetty, on omakohtainen sähkön keskihinta ylittänyt markkinahinnan keskiarvon jokaisella tarkastellulla kalenterikuukaudella, sillä suurin osa kulutuksesta kasaantuu vuorokauden kalleimmille tunneille.

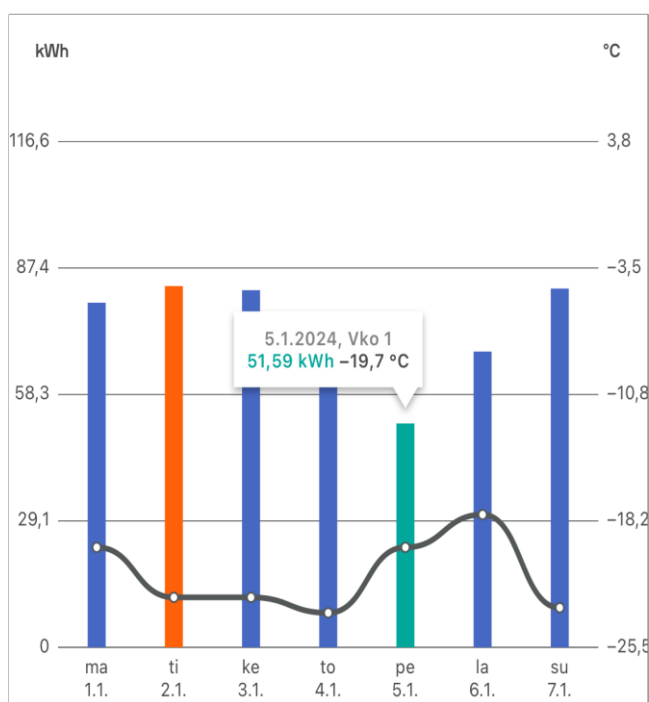
Ennätyskallis pörssisähkövuorokausi

Tarkkailujaksolle osui erityisen kallis päivä pörssisähkön hinnoittelun historiassa. 5. tammikuuta 2024 pörssisähkön keskihinta oli 109,97 snt/kWh. Vuorokauden kalleimmalla tunnilla hinta oli 235 snt/kWh. (18.) Ulkolämpötilan keskiarvo asettui -19,7:n asteeseen. (17.)

Hintojen ollessa merkittävästi normaalitasoa korkeammalla, sekä pakkasen huomattavan kireää, jouduttiin käyntiaikojen säätämisessä hakea sopivaa tasapainoa. Aikaohjelmien tarkastelujakso oli vasta alkanut, eikä käytännön dataa kaivon lämpötiloista suhteessa lepoaikojen pituuteen ollut vielä riittävästi olemassa. Pumppua ei uskallettu paremman tiedon puutteessa sulkea koko vuorokaudeksi kovalla pakkasella, sillä seurauksia ei tunnettu riittävän tarkasti. umppu säädettiin tavoittelemaan 10:n asteen sisälämpötilaa aikavälillä 6–22. Kello 14 pumppu käynnistettiin puoleksi tunniksi, jotta kaivon lämpötiloja pystyttiin tarkastelemaan lepoajan keskivälissä. Tarkasteluhetkellä kaivosta tuleva lämpötila näytti 6–14 jatkuneen käyntitauon jäljiltä +4 astetta. Kaivon ollessa

tuntuvasti plussan puolella, uskallettiin lepoaikaa jatkaa kello 22 saakka suunnitellusti. Koko kiinteistön sähkönkulutusta pystyttiin leikkaamaan verrokkipäiviin nähden noin 20 kWh. Pelkästä maalämpöpumpun kuluttamasta energiasta ei ole päiväkohtaista kulutustietoa saatavilla, mutta kuvassa 23 on havaittavissa kokonaiskulutuksen laskua. Pumppu toimi alennetulla lämpötila-asetuksella yhteensä 18 tuntia. Mikäli laskee pörssisähkön keskiarvohinnan kello 6–22 väliselle ajalle, muodostuu summaksi 140,55 snt/kWh. 20 kWh säästö tällaisilla keskiarvohinnoilla muodostaa 25,3 €:n suuruisen säästön vuorokauden kulutuksessa. (17.)

Kun ylemmän vuorokauden säästöön lisätään aikaohjelman käytön vaikutukset koko kuukauden kulutukseen ja sitä myöten säästöön, oli tammikuussa yöai-kaan ohjattu lämmitys erityisen kannattavaa kalliilla sähkön keskihinnalla.



Kuva 22. Sähkön kokonaiskulutuksessa oli havaittavissa pudotus 5.1 energian-säästötoimenpiteiden seurauksena. Kuvakaappaus Väppi-sovelluksesta.

8.3 Korkeampi ulkolämpötila yhtäjaksoisesti

Viikolla 10:n ajaksi aikaohjelma poistettiin käytöstä ja maalämpöpumpun annettiin käydä vapaasti vuorokauden ympäri. Sisälämpötilapyynti asetettiin 20 asteeseen. Sisälämpötila pysyi keskimäärin 21,5 asteessa. Viikon mittaisella jaksolla lämpötila ei pudonnut alle 21 asteen lukemaan. Aurinkoisina päivinä lämpötila kävi korkeimmillaan 23 asteessa. Asumismukavuuden kannalta sisälämpötila koettiin yleisesti hieman liian korkeaksi. Viikon 10 ulkolämpötilan keskiarvo $-2,4$ astetta ja maalämpöpumppu käytti ostoenergiaa lämmitykseen 117 kWh.

Viikoilla 7, 8 ja 9 aikaohjelma oli käytössä luvun 6.1.2 mukaisesti. Kolmen viikon ulkolämpötilan keskiarvoksi muodostui $-2,5$ astetta. Lämpöpumppu käytti ostoenergiaa lämmitykseen keskiarvolla 101 kWh/viikko.

Näin ollen ulkolämpötilan noustessa lähemmäs nollaa, pienenee myös aikaohjelmilla aikaan saatava ostoenergian säästö verrattuna kylmempiin pakkasjaksoihin. Tästä huolimatta ero kulutuksen määrässä on selkeästi havaittavissa myös lämpimämmällä säällä. Kuukausitasolle suoraan siirrettynä energian säästökseen muodostuisi 64 kWh kokonaismäärä. Lisäksi sisälämpötila koettiin testiviikon aikana asumisen kannalta liian lämpimänä, joten pumpun käyntiajat palautettiin takaisin kohdan 6.1.2 mukaisiin arvoihin ja aikaohjelma kytkettiin takaisin käyttöön. Kohdassa 6.3 mainitun säteilylämmön seurauksena käyntiaikoja voitaisiin lyhentää entisestään, jolloin vaikutus siirtyisi edelleen näkyvään tarvittavan ostoenergian määrässä vähentävästi.

8.4 Aikaohjelma lämmityskauden ulkopuolella

Esimerkkikohteessa aikaohjelman käyttö- ja tarkastelujakso ajoittuu lämmityskaudelle. Mikäli pohtii aikaohjelmien käytön mahdollisia hyötyjä lämmityskauden ulkopuolella, jäävät ne huomattavasti pienemmiksi. Kesäaikana lämmitystä ei tarvita, joten jäljelle jää käyttöveden tuottamisen aikaohjelmointi. Mikäli käyttövedettä päätettäisiin tuottaa vain yöaikaan, ehtii se jäähtyä alle suositeltujen arvo-

jen päiväsaikaan. Liian matala käyttöveden lämpötila voi mahdollistaa legionelabakteerin lisääntymisen. Näin ollen asian tarkempi pohtiminen jätetään tämän työn ulkopuolelle.

Mikäli kiinteistössä olisi käytössä maalämmön lisäksi myös maaviilennys, optimoinnilla tuskin saavutettaisiin mainittavaa säästöä, sillä viilennyskonvektorin kiertopumpun sähkönkulutus on kokonaisuutta tarkastellen melko pientä. Esimerkkikohteessa kyseistä järjestelmää ei kuitenkaan ole, joten todellisten hyötyjen arviointi testijaksojen toteuttamisen seurauksena ei ole mahdollista.

9 Yhteenveto

Tällä insinööriyöllä pyrittiin löytämään asetusarvoja ja toimintatapoja, joilla kulluttaja pystyy omassa pientalokohteessaan vaikuttamaan kokonaisenergiankulutukseensa alentavasti. Sopivia toimia valitessa huomioitiin sekä kustannuksia että asumismukavuutta. Tavoitteena oli lämmittää tarkastelun kohteena ollutta pientaloa talvikaudella mahdollisimman edullisesti mutta asumismukavuudesta liikaa tinkimättä.

Työ toteutettiin suorittamalla erilaisia testijaksoja, joiden aikana erinäistä dataa kerättiin. Testijaksojen pituudessa huomioitiin vallitsevia sääolosuhteita, jotta keskenään vertailukelpoisia päiviä saataisiin riittävästi otantaan. Yhden lämmityskauden mittainen ajanjakso tuotti pohdintoineen hyödyllistä tietoa ja havaittavia trendejä. Mitä useamman lämmityskauden läpi testijaksoja ja datan keruuta jatkettaisiin, sitä tarkemmin toteutuvia vaikutuksia voitaisiin arvioida.

Maalämpöpumpun optimaalisten asetusten hakeminen tulee jatkumaan myös seuraavalla lämmityskaudella. Tätä työtä varten toteutetun seurannan pohjalta voitaneen kuitenkin jo todeta, että erinäisten aikaohjelmien, käyntiaikojen ja lämpötilojen käyttö vaikuttavat kulutuskokonaisuuteen selkeästi.

Valmistajan ohjeistus suhteessa testituloksiin oli näin ollen ristiriidassa. Valmistajan ohjeistuksen mukaan aikaohjelmointi tai muu kuin yhtäjaksoinen lämmitys

ei ole tarkoituksenmukaista lattialämmitykselle. Tätä työtä varten tehtyjen käytännön kokeiden ja testijaksojen pohjalta poikkeaa insinööriyön tekijän oma näkemys valmistajan ohjeistuksesta. Testijaksojen perusteella käyntiaikojen ohjelmointi ja pumpun lepuuttaminen vaikuttavat energiankulutukseen alentavasti ja on sitä myöten kuluttajan näkökulmasta kannattavaa.

Tutkimuksen tulokset pätevät tässä tapauksessa vain esimerkkikohteena toimineissa kiinteistöissä, eikä vastaavien asetusten käyttäminen muualla voi taata vastaavia käytännön tuloksia. Lähtökohtaisesti laitteita kehoitetaan käyttämään vain valmistajan ohjeistusten ja suositusten mukaisesti. Laitteiden käyttäminen ohjeiden vastaisesti voi aiheuttaa laitteen takuun raukeamisen.

Valmistajan laatimassa käyttöohjeessa todetaan seuraavasti:

Vihjeitä energiansäästöön Energian säästäminen huonelämmityksessä/ huonejäähdytyksessä:

- Älä lämmitä huoneita liikaa. Jo aste vähemmän huonelämpötilassa säästää jopa 6 % lämmityskustannuksia. Älä säädä mukavuuslämpötilaasi liian korkeaksi, esim. ei yli 20 °C: katso sivu 26.
- Lämmitä huoneet öisin tai säännöllisen poissaolon aikana alennettuun huonelämpötilaan (ei tarkoituksenmukaista lattialämmitykselle). (35.)

Testijaksoilta kerätyn tiedon valossa otollisimmat asetukset esimerkkikohteeseen olivat seuraavanlaiset:

- käyntiaika: kello 22–06 (8 h), sisälämpötilan asetusarvo 20 astetta
- lepoaika (ei mitään määriteltyä asetusta tai lämpötilaa): kello 6–22 (16 h)
- yksi lisätty pidempi käyntijakso: Lauantai kello 22 – Sunnuntai kello 6 (32 h)
- lämpökäyrää nostettu alkuperäisestä yölämmityksen tehostamiseksi (kuva 16)
- toimilaitteet: 21 astetta
- sisälämpötilan vaihteluväli, 1 viikko: keskiarvo 1,5 astetta
- Kuvassa 24 esitetään asetusten kanssa käytetty lämpökäyrä.

Lisäksi kohdan 7.3 pohjalta tehdyn arvioinnin mukaan, ulkolämpötilan noustessa nollan yläpuolelle, voi sunnuntaille ohjelmoidun pidemmän käyntijakson poistaa. Lisäksi vuorokauden käyntitunteja voi vähentää samalla tahdilla, kun viikoittainen ulkolämpötilan keskiarvo nousee.

Lähteet

- 1 Asumisen energiankulutus. Verkkoaineisto. Suomen virallinen tilasto (SVT). <https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_kat_001_fi.html> Luettu 10.3.2023
- 2 Maalämmön toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Thermia Oy. <<https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>>. Luettu 12.4.2024.
- 3 AEL kylmäasentajan kurssimateriaali. 2015. Yrityksen sisäinen aineisto. Eerika Consulting Oy.
- 4 Viessmann Vitocal 333-G Technical manual. Verkkoaineisto. Viessmann. <<https://viessmandirect.co.uk/files//499b1238-03e0-4b0c-b7d5-adda016de3ff/Technical%20Guide.pdf>>. Luettu 12.4.2024.
- 5 Kaappola, Esko., Hirvelä, Aulis., Jokela, Matti. & Kianta, Jani. 2014. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Mikkola, Joni. 2021. Kartoitus lämmitysjärjestelmän vaihdon kannattavuudesta omakotitalossa. Insinööritö. Turku AMK. Theseus-tietokanta.
- 7 Hänninen, Hanna., Karppinen, Maarit., Leskelä, Markku Antero. & Pohjakallio, Maija. 2019. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita.
- 8 Kontio, Joonas. 2020. Ilmalämpöpumpun lämpökerrointutkimus. Insinööritö. Centria ammattikorkeakoulu. Theseus tietokanta.
- 9 Scroll kompressori. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Scroll-kompressori>>. Muokattu 1.9.2023. Luettu 12.4.2024.
- 10 Sähkön säästäminen: Tehokkaat vinkit energian säästämiseen!. Verkkoaineisto. Lumme Oy. <<https://www.lumme-energia.fi/sahkon-saastovinkit>>. Luettu 12.4.2024.
- 11 Viessmann Vitotronic 200: Käyttöohje laitteiston käyttäjälle. Verkkoaineisto. Viessmann. <https://static.viessmann.com/resources/technical_documents/FI/fi/VBA/5817920VBA00002_1.pdf?#pagemode=bookmarks&zoom=page-fit&view=Fit> Luettu 12.4.2024.
- 12 Pörssisähkön tuntihinnan vaihtelut. Milloin sähkö on edullisinta? Verkkoaineisto. Vaasan Sähkö Oy. <<https://www.vaasansahko.fi/energianeuvonta/porssisahkon-tuntihinnan-vaihtelut-milloin-sahko-on-edullisinta/>>. Luettu 12.4.2024.
- 13 Vesiputkissa lymyää vaarallinen legionellabakteeri, joka voi levitä väärälaisten sähkönsäästötoimien seurauksena. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/74-20011336>>. Luettu 12.4.2024.

- 14 Maalämpöjärjestelmään kannattaa asentaa puskurivaraaja, Verkkoaineisto. Tom Allen Senera Oy. <<https://www.tomallensenera.fi/blogi/maalampojarjestelmaan-kannattaa-asentaa-puskurivaraaja>>. Luettu 12.4.2024.
- 15 Liian lyhyissä maalämpökaivoissa voi piillä jäätymisen riski – "Ihmetyttää, jos joku leikkii sillä reiän pituudella". Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-9986724>>. Luettu 12.4.2024.
- 16 Ennätyskallis sähkön hinta laukaisi pörssisähkösopimusten vaihtoviikot. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/74-20069585>>. Päivitetty 8.1.2024. Luettu 12.4.2024.
- 17 Väppi -sovellus. Versio 5.14.10. 2024. Energiayhtiö väre Oy.
- 18 Spot-sähkö kuukausikeskihinnat vuodesta 2018 alkaen. Verkkoaineisto. Omavoima. <<https://omavoima.fi/spot-sahkon-hintahistoria/>>. Luettu 12.4.2024.

Liitteet

Porausraportti

Maalämpökaivon porausraportti

MLK-1 PORAUSRAPORTTI

* Porauspaikan osoite: KOSKENRANNANKUJA 2, 45700 KUUSANKOSKI

* Toimenpideluvan numero: _____

* Kiinteistötunnus: _____

* Porausfirma: CNT RAKENNUS OY

* Porausfirman Y-tunnus: 2489129-2

* Porausfirman yhteystiedot: VEIKKAHDENTIE 47, 02400 KIRKKONUMMI

* Reiän tarkoitus: porakaivo maalämpökaivo muu

* Porauspäivämäärä ja -aika: 30-31.04.2022 klo 12⁰⁰ - 14⁰⁰

* Porauspaikka:

- * karttaleite
- koordinaatit
- koordinaattijärjestelmä

Muista lisätä kartta raportin liitteeksi!

x= _____ y= _____ z= _____

ETRS-GK25 muu, mikä: _____

* Porareiän halkaisija: 115 mm

* Porareiän kaltevuus: 0 astetta

Porareiän suuntakulma: 0 astetta

* Msaputken pituus ja laatu: 9 m TERÄS 139,7 k5 m

Havainnot maatajasta: _____

* Kallioporauksen syvyys: 220 m

Havainnot kallion laadusta: _____

Havainnot kallion rikkinaisuudesta: E4 ja

* Reiän kokonaispituus: 220 m

* Arvioitu veden tulo: _____ l/h

Huomiot kalliovedestä: _____

Lisätietoja: KERUNESTE "NATURELL"

AIN HEINSHAR

Laitteet

Kiinteistössä käytössä olevat jakotukit, jakotukkien toimilaitteet, termostaattit ja maalämpöpumppu



Jakokeskus virtausmittareilla, ruostumatonta terästä

- runko 1" ruostumattomasta teräksestä 2 kpl
 - lähdöt 3/4" EC (eurokartio)
 - virtauksen tasapainotus menopuolella olevilla integroiduilla virtausmittareilla 0-5,0 L/min
 - virtausmittarin säätöarvo voidaan tallentaa lukitusrenkaalla
 - paluupuolella integroidut venttiilit käsiasäätöpyörillä
 - seinäteline 1" rungolle 2 kpl
 - ilmanpoistin 2 kpl
 - täyttö- ja tyhjennysventtiili 2 kpl
 - yhdistäjä 1" tasotiivisteellä 2 kpl
 - päätytulppa 3/4" 2 kpl
- paineluokka 6 bar
 - maksimi käyttölämpötila 80 °C
 - asennussyvyys 80 mm

koodi	pii-rit	leveys mm	€ / kpl alv 0%
202.81.02	2	191	176,00
202.81.03	3	241	225,00
202.81.04	4	291	275,00
202.81.05	5	341	324,00
202.81.06	6	391	373,00
202.81.07	7	441	422,00
202.81.08	8	491	471,00
202.81.09	9	541	521,00
202.81.10	10	591	570,00
202.81.11	11	641	619,00
202.81.12	12	691	668,00

koodi	läh-	leveys	€ / kpl
-------	------	--------	---------



Huonetermostaatti "Gamma 7"

- elektroninen
- säätöalue 5-30 °C
- mallit 24 V ja 230 V
- koko peitekehyksellä 85 x 85 x 30 mm
- IP 30 (kuivaan tilaan)
- yöpudotus ulkoisella kellolla noin 3 °C
- voi ohjata maksimissaan 5 toimilaitetta NC tai NO
- lisävarusteena saatavana julkisen tilan kansi ja suojakotelo IP34

koodi	malli	€ / kpl alv 0%	pak-kaus
386.11.02	24 V	48,20	1
386.11.22	230 V	48,20	1
386.11.12	24 V lattia-anturilla	79,00	1
386.11.32	julkisen tilan kansi	9,70	1
353.04.69	Suojakotelo IP34	34,35	1



Toimilaite

- Asennetaan jakokeskuksen venttiilin tai patteriventtiilin käsiasäätöpyörän tilalle.
- tehontarve 2,5 W
 - jännitteettömänä suljettu
 - koko 39 x 54 x 82 mm
 - kierre M 30 x 1,5 mm
 - IP 55
 - maksimi ympäristön lämpötila 50°C ja veden 80°C
 - kytkentäkaapeli 90 cm

koodi	käyttö- / ohjausjännite	€ / kpl alv 0%	pak-kaus
306.00.02	230 V	38,00	1
306.00.12	24 V	38,00	1
306.00.10	24 V / 0-10 V	111,00	1



Huonetermostaatit, BasicPlus /
BasicPlus2, Huonetermostaatti, 230.0 V,
Kojerasia-asennus

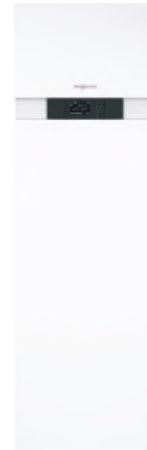
088U0625

LVI: 2029119

BasicPlus2 WT-P, ohjelmoitava, Johdotettu
230V

Invertteriohjattu maalämpöpumppu **VITOCAL 333-G**

Vitocal 333-G	Tyyppi	1	2
Tehotiedot (EN 14511:2011 mukaan, liuos 0 °C / vesi 35 °C, lämpötilaero 5 K)			
Nimellislämpöteho	kW	4,3	5,3
Lämmitystehoalue	kW	1,7 – 8,6	2,4 – 11,4
Teholuku e (COP) lämmityskäytöllä		4,9	5,0
Max. menoveden lämpötila	°C	65	65
Kylmäpiiri			
Kylmäaine		R410A	R410A
- Täyttömäärä	kg	2,0	2,3
- Ilmastonlämpenemispotentiaali		1924	1924
- CO ₂ -ekvivalentti	t	3,9	4,4
Mitat (syvyys x leveys x korkeus)	mm	680 x 600 x 2000	
Varaajan tilavuus	Litraa	220	220
Maximaalinen käyttöveden tuotto	Litraa	345	345
Teholuku (COP_{wh}) käyttöveden valmistuksessa		3,2	3,2
Paino	kg	239	244
Energiatehokkuusluokka*	■	A+++	A+++
Lämmityskäytöllä			
Hänäprofiili		XL	XL
Energiatehokkuusluokka	■	A+	A+



TUOTEOMINAISUUKSIA:

- + Invertteriohjattu maalämpöpumppu 1,7 - 11,4 kW, sopeutuu rakennuksen energiantarpeeseen
- + Lämpimän käyttöveden tuotto yli 345 l veden lämpötilan ollessa 40 °C normaalikäytöllä
- + Todella tehokas käyttöveden lämmitys alentaa käyttökustannuksia
- + Tuottaa lämmintä käyttövettä jopa 60 °C ilman sähkövastusta
- + Alhaiset käyttökustannukset parhaan energialuokan A+++ ansiosta
- + Korkea hyötysuhde COP EN14511 (2011): jopa 5,0 (B0/W35)
- + Erittäin hiljainen uuden äänenvaimennuskonseptin ansiosta
- + Kompaktit mitat, pieni tilantarve
- + Kätevä ja helppo - lämpöpumpun automatiikalla ohjaat lämmitystä, jäähdytystä ja käyttöveden lämmitystä
- + Integroiduilla ohjaustoiminnoilla tehokasta aurinkosähkön hyödyntämistä
- + Etäohjausmahdollisuus internetin kautta ViCare-sovelluksen ja tarvikkeena toimitettavan Vitoconnect-tiedonsiirtoyksikön avulla
- + Laatu tuote 220 litran rosterivaraajalla

VitoConnect etäohjausyksikkö

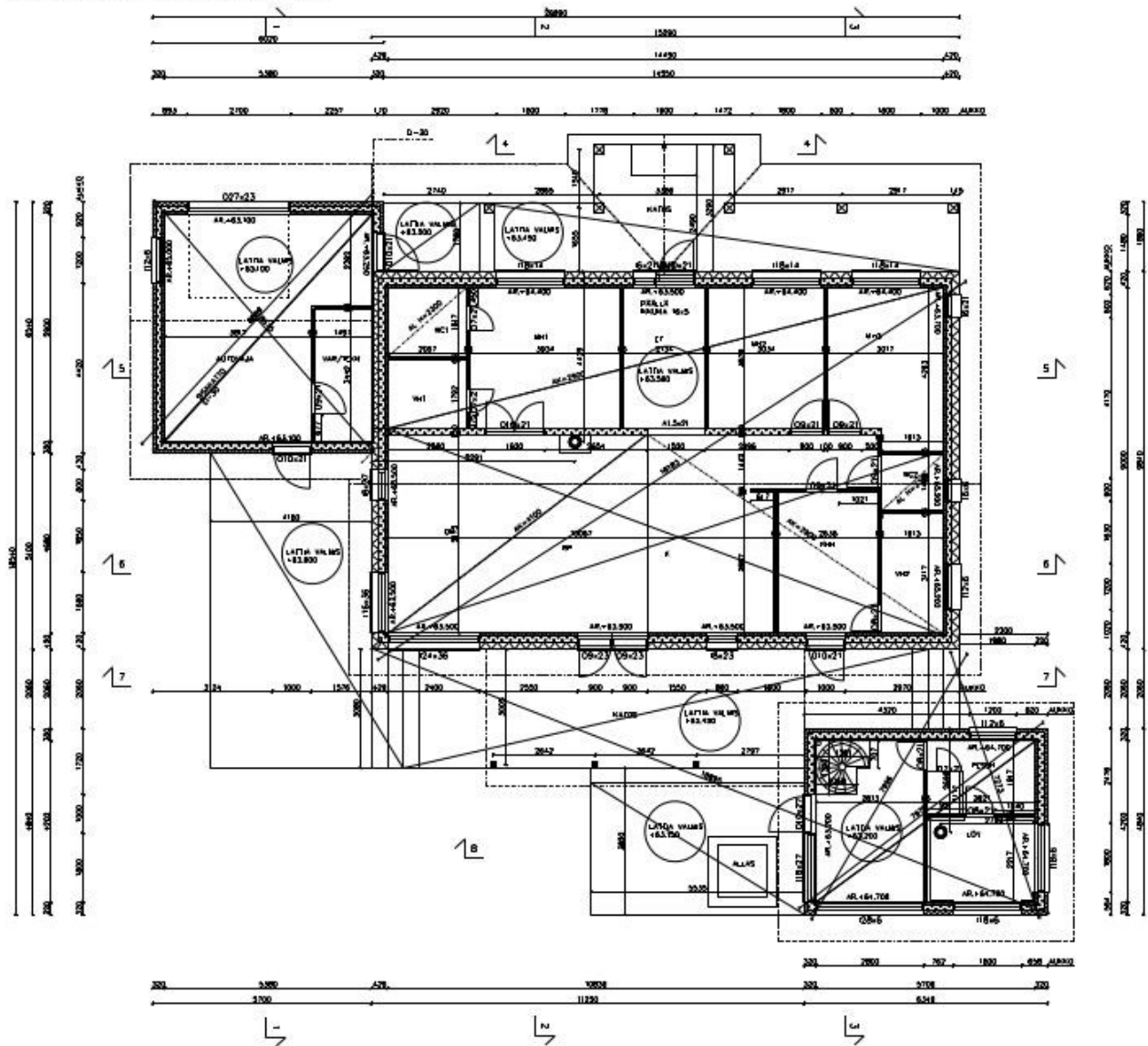
VitoConnect on lämmityslaitteen ja ViCare-sovelluksen tiedonsiirtorajapinta. Se on yhteensopiva sekä uusien että useiden vanhempien (vuodesta 2010) Viessmann lämmitysjärjestelmien kanssa.



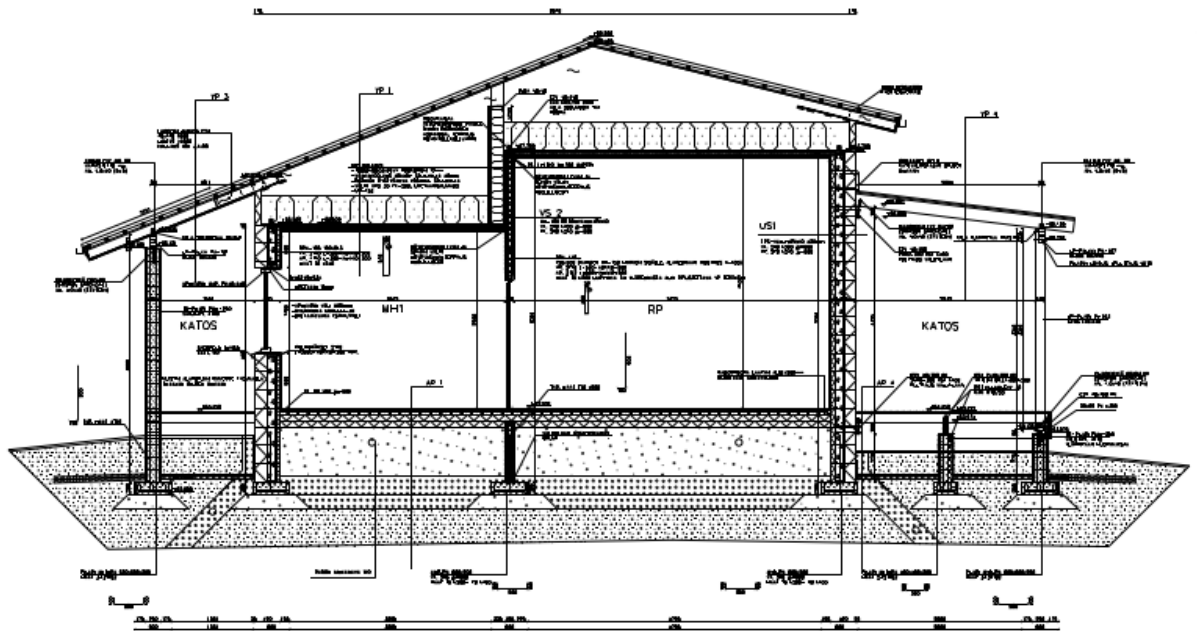
Rakennuspiirustukset

Otteita seuraavista piirustuksista: rakennemittapohja, rakenneleikkaus (päära-
kennus + sauna) sekä ARK julkisivu kuva.

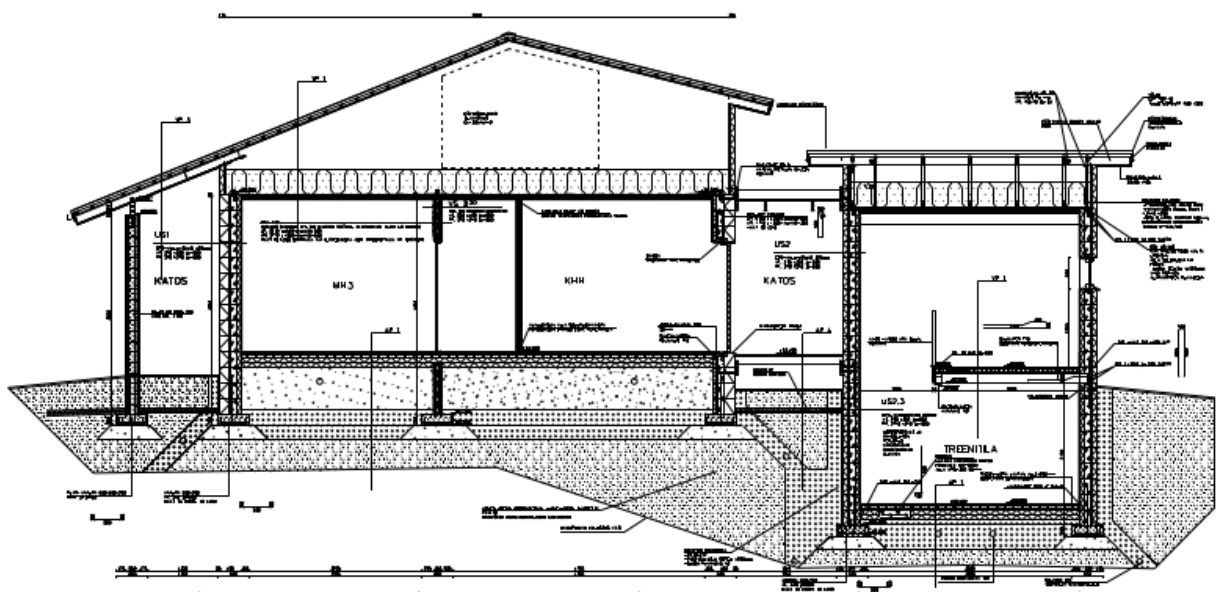
RAKENNE MITTAPOHJA 1.KRS 1:50



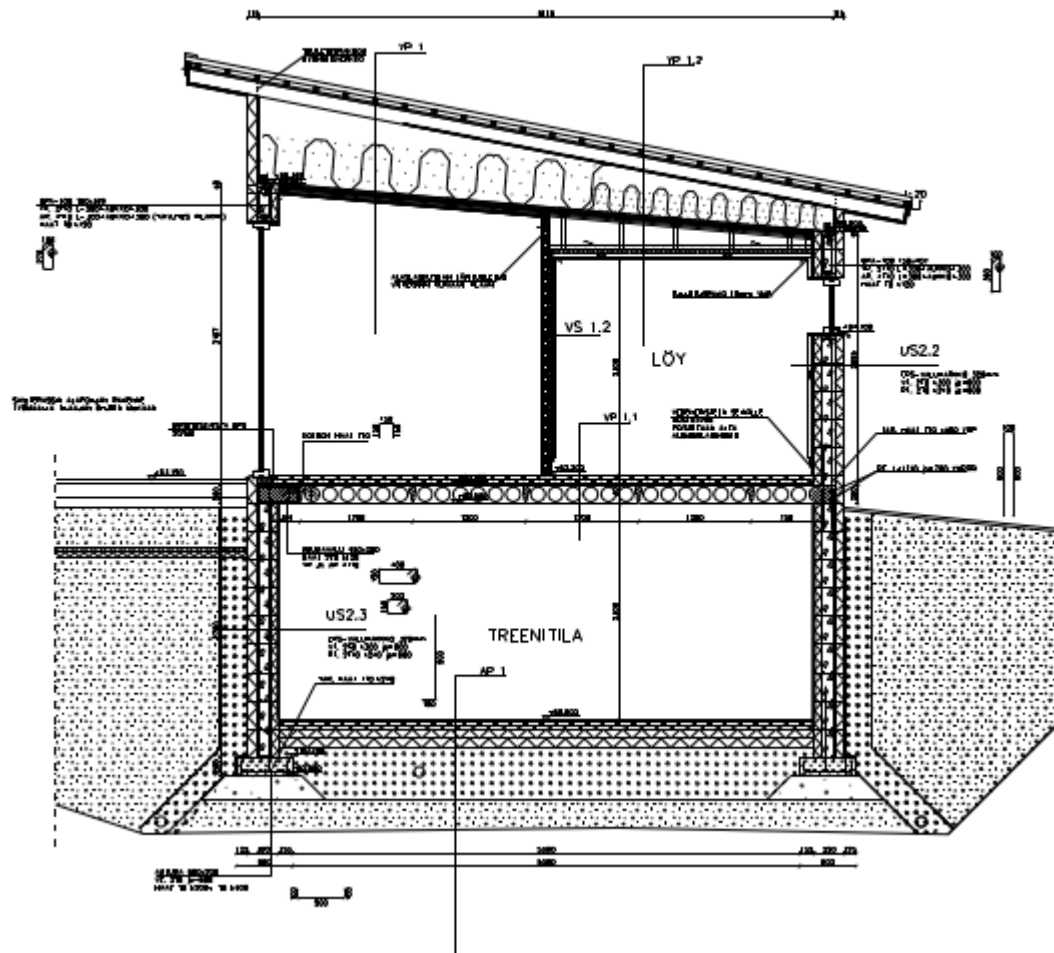
LEHKAUS 2-2 1:20

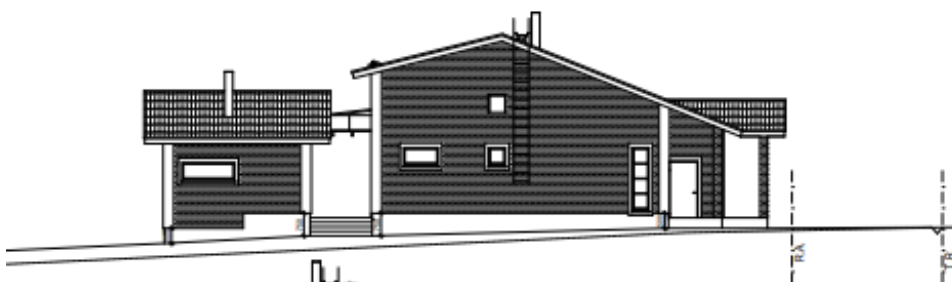
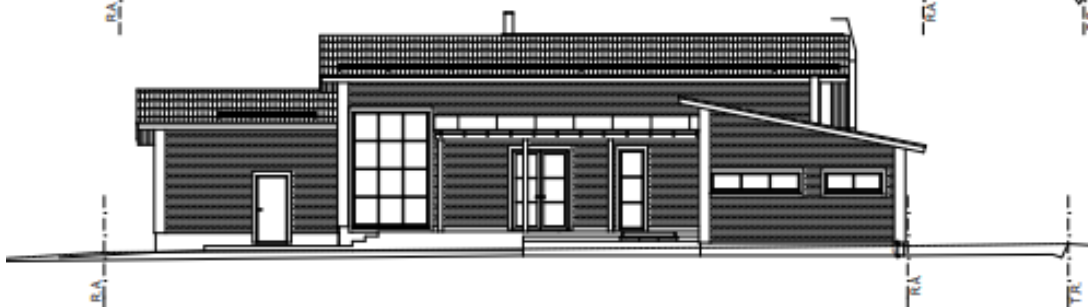


LEHKAUS 3-3 1:20





LEIKKAUS E-E 1:20










Tehopeittelaskelma


Maalämpöpumpputoimittajan tehopeittelaskelma rakennuksen lämmitystarpeelle.



Kiinteistön lämmöntarve  			
Lämmitysteho yhteensä			18 855 kWh/v
- lämmin käyttövesi			0 kWh/v
Tehontarve yhteensä			8,2 kW



Alkuperäinen kulutus    			
Ostoenergia, sähkö (100%)	18 855 kWh/v	mikä vastaa:	18 855 kWh/v
Kustannukset			3 394 €/v

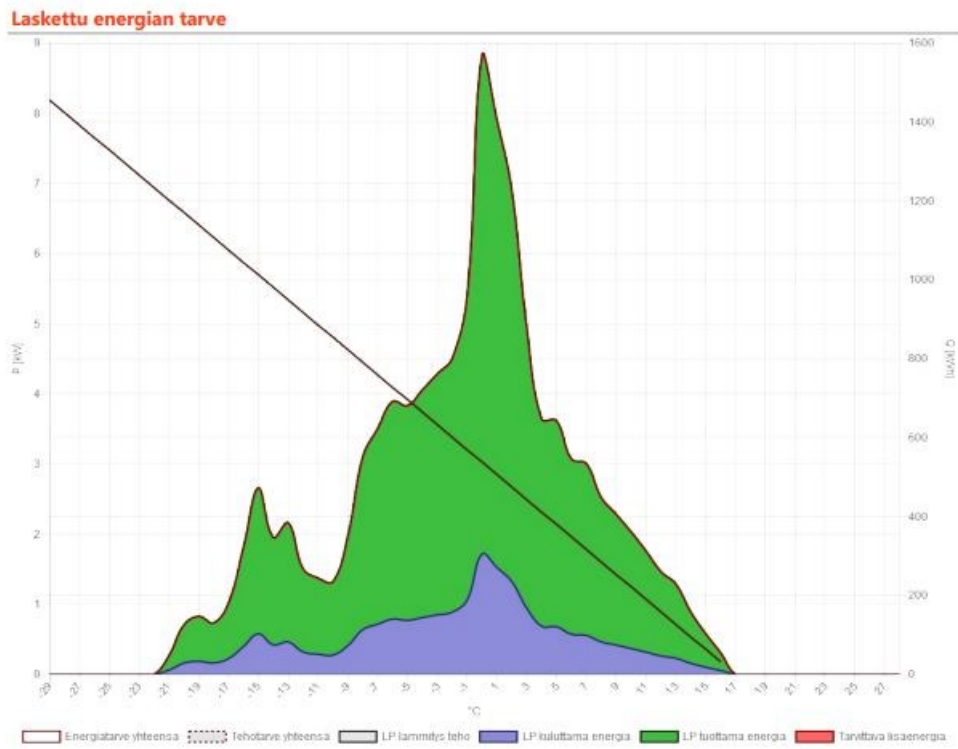
Kulutus lämpöpumpun asennuksen jälkeen	
Ostoenergia, sähkö	3 703 kWh/v
Kustannukset	667 €/v

Säästöt 	
Energiansäästö	15 152 kWh/v
Kustannussäästö	2 727 €/v

Perustiedot 	
Huonelämpötila	21 °C
Lämmityksen aloitus	17 °C
Kokonaispinta-ala	233 m ²
Kokonaistilavuus	630 m ³
Menovesi mitoituslämpötilassa (-29 °C)	40 °C
Käyttövesi	55 °C
Vuotuinen keskilämpötila	4,6 °C
Mitoituslämpötila	-29 °C

Lämpöpumppu  	
1 x Vitocal 333-G 331.C06	
LP Energiatuotto	18 855 kWh
LP Sähköenergian kulutus	3 703 kWh
Lisäenergia	0 kWh
Energiaosuus	100 %
Vuosihyötysuhde	5,1
- lämmitys	5,1
LP lämmitysteho, MUL	8,2 kW
Tehopeitto, MUL	100 %
Lisälämmitysteho	0,0 kW

Keruupiiri  	
Porakaivo	
Aktiivisyvyys	1 x 162 m
Ominaisenergia	94 kWh/m
Lambda	2,5 W/m K



Tuotesivut

Vitocal 333-G

