

Turo Hekkala

KERROSTALON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Lämpöpumput kerrostalossa

KERROSTALON ENERGIAEHIKUUDEI PARANTAMINEN

Lämpöpumput kerrostalossa

Turo Hekkala
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Turo Hekkala

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Kerrostalon energiatehokkuuden parantaminen
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Improving Energy Efficiency In Apartment Building

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 62

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää ja tutkia kaukolämmityksellä lämpiävän kerrostalon energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia. Tarkasteltavina lämmitysvaihtoehtoina olivat poistoilmalämpöpumppu ja maalämpö. Tavoitteena oli valita eri lämmitysvaihtoehdoille päälaitteistot, laskea niillä saatavat energiansäästöt ja sen perusteella laskea kannattavin vaihtoehto taloyhtiön kannalta. Lisälämmitysvaihtoehtoina olivat kaukolämmitys ja sähkölämmitys.

Työssä tutkittiin todellisia kulutustietoja ja sen perusteella määritettiin lämmitystekohonta. Työn laskentaosuudessa otettiin huomioon todellinen tehon- ja lämpöenergian tarve. Lähteenä opinnäytetyössä käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmia ja HögforsGST:ltä saatuja materiaaleja. Ensin määritettiin kerrostalon energian- ja tehontarve. Niiden perusteella voitiin mitoittaa optimaaliset lämpöpumput eri lämmitysvaihtoehdoille.

Kerrostalon energiankulutus on suurimmillaan 667 MWh vuodessa. Tämä ei ole lämpötilakorjattu lukema. Poistoilmalämpöpumpulla kulutusta voidaan vähentää noin 277 MWh vuodessa. Kun lisälämpöä tuotetaan vielä maalämpöpumpulla, kulutus vähenee noin 590 MWh vuodessa. Tällöin sähkönkulutus lisääntyy kuitenkin järjestelmässä niin paljon, että vuosittainen säästö verrattuna investointikustannuksiin ei ole kannattavaa. Lisäksi opinnäytetyössä laskettiin esimerkkilaskenta kaukolämmön täysimääräisestä korvaamisesta. Sähkötehon tarve lisääntyy silloin kuitenkin niin merkittävästi, että investointi ei ole lasketulla vuosittaisella säästöllä kannattava.

Asiasanat: lämpöpumppu, lämmöntalteenotto, maalämpö, hybridijärjestelmä, energiansäästö, kestävä kehitys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 KERROSTALON ENERGIANTARVE JA LÄMMITYS	7
2.1 Kerrostalon lämmöntarve	7
2.2 Kaukolämpö	8
2.3 Kaukolämmöntuotanto Oulussa	9
2.4 Rinnakkaislämmön kytkentä kaukolämmössä	10
2.5 Poistoilmalämpöpumppu	11
2.6 Maalämpö	12
2.7 Lämpöpumpun toiminta	13
2.8 Sähkökattila ja -vastus	14
3 KOHDEKERROSTALO JA SEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS	16
3.1 Kulutuksen määrittämisestä	16
3.2 Säävyöhyke ja mitoittava lämpötila	16
3.3 Kohdekerrostalo	18
3.4 Lämmitystehon tarpeen määrittäminen vuosidatasta ulkolämpötilan perusteella	19
3.5 Lämmitystehon tarpeen tarkastelu tuntidatan perusteella	22
3.6 Högforsin lämmitystehontarpeen määrittäminen	24
3.7 Mitoitustehon vertailu	25
3.8 Lämpimän käyttöveden sekä patteriverkoston lämpötila ja teho	27
3.8.1 Lämmin käyttövesi	28
3.8.2 Lämmitys ja patteriverkosto	29
4 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN MITOITUS	32
4.1 Lämpöpumpun valinta ja pysyvyyskäyrä	34
4.2 Lämpimän käyttöveden puskurivaraajan mitoitus	36
4.3 Puskurivaraajan lämpöhäviö ja sen kustannus	38
4.4 Poistoilmalämpöpumpulla saatava vuosittainen energiamäärä ja säästö	39
5 MAALÄMPÖ- JA POISTOILMALÄMPÖPUMPUN MITOITUS	43
5.1 Lämpöpumpun valinta – lisälämpö kaukolämmöllä	43

5.2 Lämpöpumpulla saatava vuosittainen energian määrä ja säästö – lisälämpö kaukolämmöllä	45
5.3 Maalämpöporakaivojen syvyys - kaksi Stiebel WPF40 -lämpöpumppua	47
5.4 Lämpöpumpun valinta – lisälämpö sähköllä	48
5.5 Lämpöpumpulla saatava vuosittainen energian määrä ja säästö – lisälämpö sähköllä	50
5.6 Maalämpöporakaivojen syvyys – kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua	53
5.7 Aurinkosähkö	54
5.8 Investoinnit ja takaisinmaksuajat	55
6 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	59

1 JOHDANTO

Lämpöpumpputeknologia on lisääntymässä kerrostalojen lämmitysmuotona. Yleensä vanhoissa taloyhtiöissä lämpöpumpuilla pyritään saamaan säästöjä kaukolämmön rinnakkaisena lämmitysmuotona, mutta joissain tapauksissa voidaan harkita jopa kaukolämmön korvaamista. Useissa vanhemmissa kerrostaloissa ei ole poistoilman lämmöntalteenottoa. Tästä syystä kerrostalot hukkaavat vuosittain valtavan määrän energiaa poistoilman mukana taivaalle. Lämpöpumpputeknologian ja sen lämpökertoimien parantuessa voidaan lämmintä poistoilmaa ja muun muassa maalämpöä hyödyntää nykyaikana kohtuullisella sähkönkulutuksella.

Toimeksiantajalle on tullut erään kerrostalon taloyhtiöstä tarjouspyyntö koskien kaukolämpökulutuksen vähentämisen selvittämistä. Taloyhtiö haluaa alentaa lämmityksen kustannuksia ja saada energiankäyttöä ympäristöystävällisempään suuntaan. Tällä hetkellä kerrostalossa ei ole poistoilman lämmöntalteenottoa, ja kaukolämmön kustannukset ovat vanhojen rakenteiden vuoksi suuret.

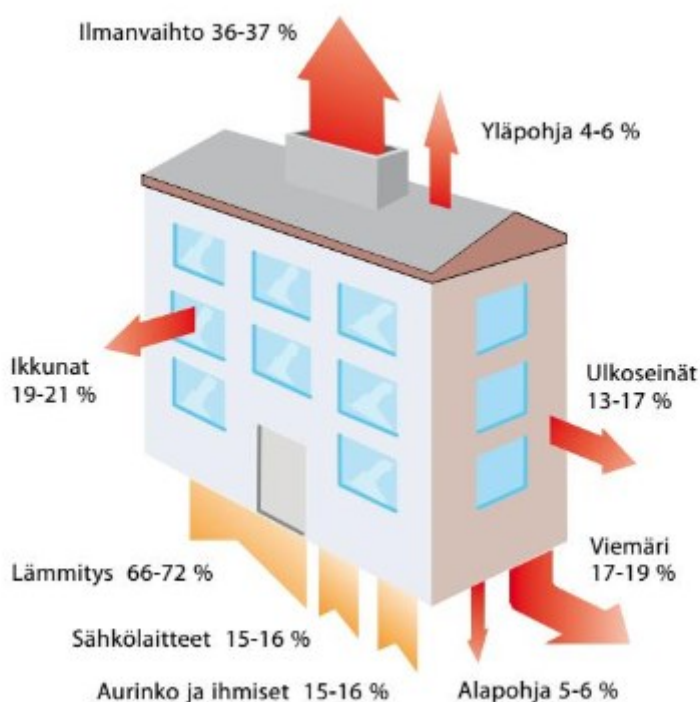
Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia eri vaihtoehtojen kannattavuutta taloyhtiön energiajärjestelmän päivittämisessä. Pääsääntöisesti työssä tarkastellaan lämmöntalteenoton ja maalämmön hyödyntämistä lämpöpumpulla. Mahdollisesti tarkastellaan myös kaukolämmön korvaamista kokonaan. Lisäksi voidaan mitoitaa aurinkopaneelijärjestelmä, jota voitaisiin hyödyntää lämpöpumpun sähköenergiana. Taloyhtiössä on kaksi rappua, joista molemmissa on oma poistoilmakanava, joten lämmöntalteenottoyksiköitä tulisi kaksi kappaletta.

Tehtävä aloitetaan määrittämällä kaukolämpökulutuksesta lämpimän käyttöveden ja lämmityksen osuus. Siitä saadaan määritettyä tarvittava lämmityksen teho ulkolämpötilan mukaan. Haasteena on huipputehon määrittäminen. Lisäksi kysytään tarjous lämpöpumppuyhtiö HögforsGST:ltä investoinnista ja laitemitoituksesta. Tehtävänä on myös mitoitaa kohteeseen lämpöpumppu, jotta voidaan vertailla sitä toimittajan mitoitukseen. Opinnäytetyössä lasketaan muutostyön kannattavuus sekä takaisinmaksuaika, jolloin nähdään investoinnin kannattavuus taloyhtiön näkökulmasta.

2 KERROSTALON ENERGIANTARVE JA LÄMMITYS

2.1 Kerrostalon lämmöntarve

Kerrostalon lämmöntarve muodostuu kerrostalon kulutuksen mukaan. Kuvassa 1 on kuvattu lämmitysenergian osuudet 1960–1980-luvun kerrostalossa. Lämmityksen osuus tuotetusta lämmöstä on 66–72 %. Kun lämmöntalteenottoa poistoilmasta ei ole, jopa kolmannes lämmöstä menee hukkaan. (1, s. 19.)



KUVA 1. Kerrostalon lämpöenergian tase (1, s.19)

Kohteena olevasta kerrostalosta pyritään kierrättämään ilmanvaihdon kautta menevää energiaa takaisin lämmittämiseen sekä nostamaan lämmityksen hyötysuhdetta. Näin taloyhtiö voi saada säästöjä. Seuraavaksi tarkastellaan lämmitysmuotoja, joita on järkevää miettiä kerrostalon lämmittämiseen kaupunkiympäristössä.

2.2 Kaukolämpö

Kaukolämmityksellä lämmitetään keskitetysti asuinalueen tai kaupungin asuintaloja ja rakennuksia lämmöntuotantovoimalaitoksilla tai lämpökeskuksilla. Lämpöenergia jaetaan asiakkaille kaukolämpöverkostolla. (2, s. 22.)

Kaukolämmöntuotannon etuna on korkea energiatehokkuus, koska kaukolämpöä tuottavat laitokset ovat nykyään niin sanottuja yhteistuotantolaitoksia (CHP), joilla tuotetaan sekä sähköä että lämpöä. Kaukolämmitysveden lämmittämiseen käytetään sähkön tuottavasta turbiinista tulevaa jäähtynyttä höyryä. Jos tällä höyryllä ei lämmitetä kaukolämpövettä, joudutaan se jäähdyttämään meri-, järvi- tai jokivedellä, mikä laskee sähköntuotannon hyötysuhdetta merkittävästi. Näin voidaan ajatella, että kaukolämpö on sähköyhtiöiden niin sanottua jäte-energiaa. (2, s.12–13.)

Kaukolämpö jaetaan asiakkaille jakeluverkoston avulla, jonka ylläpitämisestä vastaa kaukolämpöyhtiö. Asiakkaille tulevan kiertoveden lämpötila on 120–70 °C riippuen vuodenajasta ja tarvittavasta tehosta. (2, s. 17.)

Kaukolämmön etu asiakkaille on yksinkertainen laitteisto, jossa lämpö otetaan talteen lämmönsiirtimillä. Lämmönsiirtimet ovat osa lämmönjakokeskuksia, joissa on keskitetysti kaikki taloyhtiön lämmittämiseen tarvittavat komponentit. Lämmönsiirtimillä lämmitetään erikseen käyttövettä ja huonetilojen lämmityksen vesi-kiertoa. Vanhoissa kerrostaloissa käyttövedellä voidaan lämmittää myös märkätilojen lattioita. Kuvassa 2 esimerkkikuva Danfossin valmistamasta lämmönjakokeskuksesta. (2, s. 19.)



KUVA 2. Esimerkkikuva lämmönjakokeskuksesta (3)

2.3 Kaukolämmöntuotanto Oulussa

Oulussa kaukolämmöntuotannosta ja -jakelusta vastaa Oulun energia. Oulun energian lämmöntuotannosta vastaavat pääosin Toppila 2 -voimalaitos ja Laanilassa sijaitsevat ekovoimalaitos sekä uusi biovoimalaitos. Laanilan biovoimalaitos on valmistunut vuonna 2020 ja se korvaa Toppila 1:n, joka poistui käytöstä kesällä 2020. Taulukossa 1 on kuvattu Oulun energian tuotantolaitosten tuotanto-osuudet. Tuotanto-osuudet eivät kuitenkaan enää vuonna 2021 pidä paikkaansa kovin tarkasti, koska uusi biovoimalaitos tulee tuottamaan suurimman osan lämmöntuotannosta. (4.)

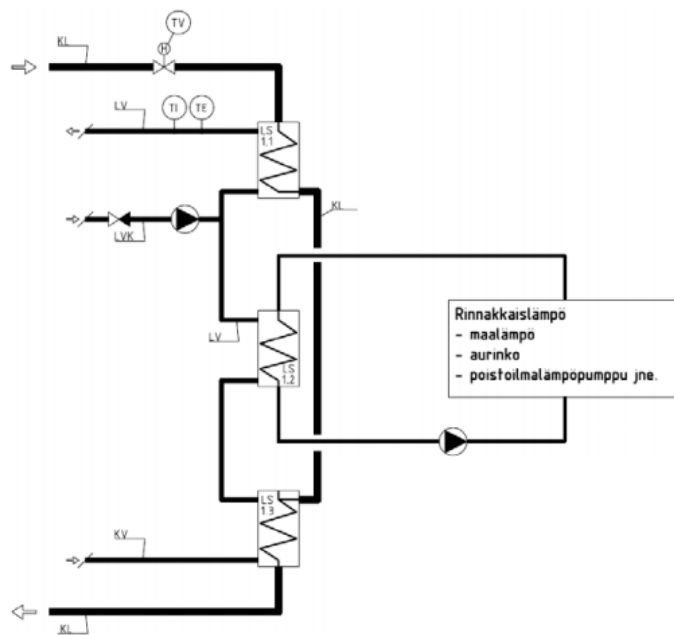
TAULUKKO 1. Vuoden 2019 lämmön alkuperä Oulun energialla (5)

Toppila	63,2 %
Ekovoimalaitos	20,9 %
Lämpökeskukset	0,8 %
Ostettu lämpö	15,0 %
Yhteensä (GWh)	2 259

Energianlähteenä Oulun energia käyttää pääosin turvetta ja puuta eli haketta. Turve kattoi vuonna 2019 energialähteistä 54,7 prosentin osuuden, toiseksi suurin oli puu 36,4 prosentin osuudella ja kolmanneksi suurin jäte 6,8 prosentin osuudella. Asiakkaille toimitetun kaukolämmön CO₂-ominaispäästöt olivat 218 g/kWh. (5.)

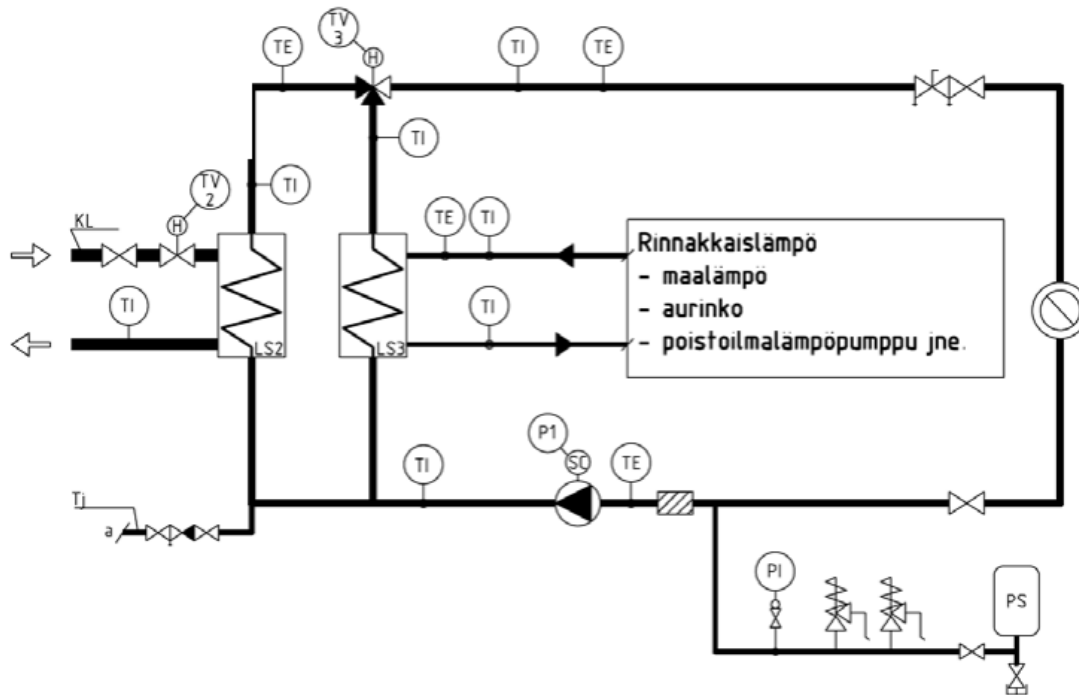
2.4 Rinnakkaislämmön kytkentä kaukolämmössä

Oulussa kaukolämmön rinnalle vaihtoehtoisia lämmönlähteitä asennettaessa noudatetaan Energiateollisuus ry:n ohjeita kytkemisessä. Kuvassa 3 on kytkentäkaavio käyttöveden lämmityksen siirtimistä rakennusten kaukolämmitystä K1/2020:n mukaan, kun otetaan käyttöön rinnakkaislämmönlähde. Tällöin kaukolämmönsiirtimellä voidaan varmistaa se, että lämmin käyttövesi on riittävän kuumaa (ohjearvo 58 °C). (6, s. 92.)



KUVA 3. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen (6, s. 92)

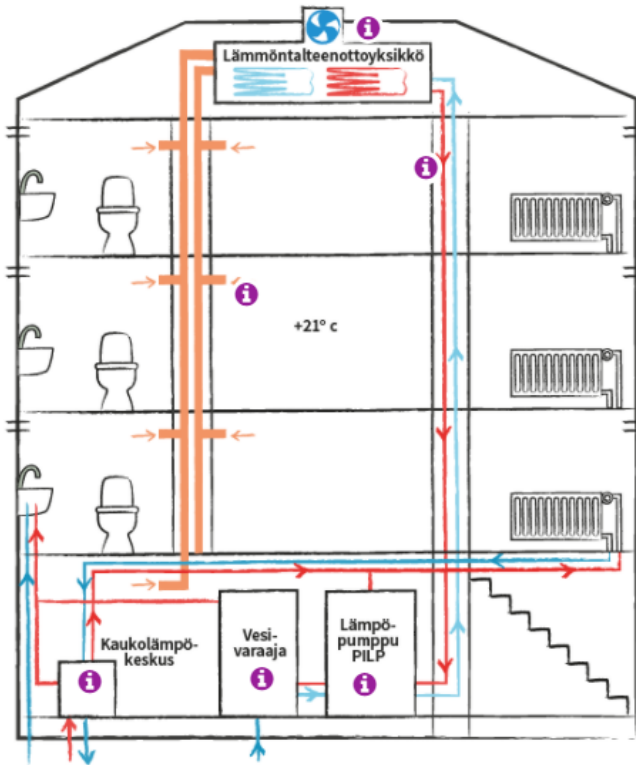
Myös rakennuksen lämmityskierrossa noudatetaan Oulun energian asiakkailta K1/2020:n suosituksia. Kuvassa 4 on rakennuksen lämmityskierrossa kaavio, kun otetaan käyttöön rinnakkaislämmönlähde. Kyseisessä kytkennässä siis pääasiallinen lämmitystehontarve pyritään kattamaan LS3:lla. (6, s. 92.)



KUVA 4. Rinnakkaislämmön kytkentä rakennuksen tilojen lämmitykseen (6, s. 92)

2.5 Poistoilmalämpöpumppu

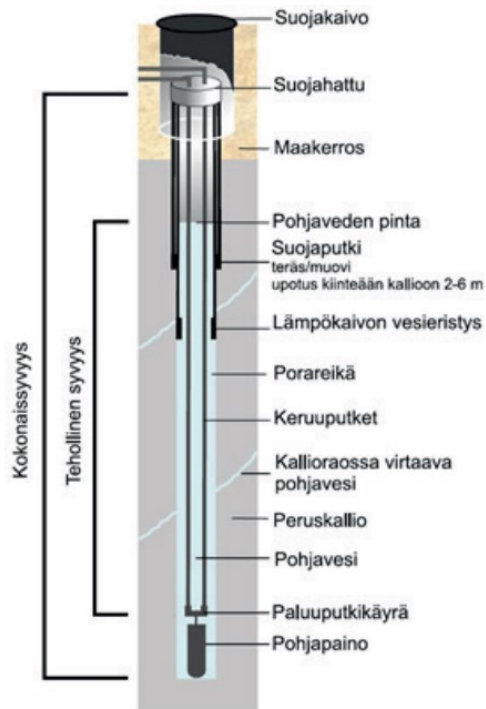
Poistoilmalämpöpumpun (PILP) tarkoituksena on ottaa talteen energiaa kerrostalon asuintilojen ilmanvaihdossa poistuvasta lämpimästä ilmasta. Poistoilma jäähtyy tällöin 21 asteen lämpötilasta noin -2– +5 asteen lämpötilaan riippuen mitoituslämpötilasta. Kerrostalon katolle asennetaan LTO-yksikkö, joka siirtää lämmön ilmasta lämpöpumpun keruunesteeseen. Lämpöpumppu hyödyntää lämmenneen keruunesteen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Poistoilmalämpöpumpulla ei voida kuitenkaan kattaa koko vuoden lämmöntarvetta kerrostalossa, joten sen lisäksi tarvitaan rinnakkainen lämmöntuotantojärjestelmä. Yleensä tämä on kaukolämpö tai suora sähkölämmitys. Kuvassa 5 esitetään yksinkertainen kaavio PILP-järjestelmästä ja sen pääkomponenteista. (7, s. 4.)



KUVA 5. Poistoilmapumpun lämmönkierto kerrostalossa (8)

2.6 Maalämpö

Maalämmön hyödyntäminen tapahtuu samalla periaatteella kuin poistoilmasta otettava lämpö. Maalämmössä otetaan lämmitysenergia maasta joko poratusta kaivosta tai vaakaan sijoitetulla putkistolla pintamaasta. Kaupunkialueella käytetään porakaivoa vähäisten pintamaa-alueiden vuoksi. Porakaivoja voidaan tarvittaessa porata useampia, mikäli yhden porakaivon energia ei riitä täyttämään tarvetta. Kuvassa 6 esitetään porakaivon rakenne. (9, s. 2.)



KUVA 6. Energiakaivo (9, s. 5)

Oulussa maalämmöstä saatava energia on määritetty olevan 103 kWh/m vuodessa porausraporttien ja lämmöntuottolaskelmien perusteella. Maalämpökaivon suunnittelussa täytyy noudattaa Maankäyttö- ja rakennuslain 126. §:ää, 138. §:ää, 117. §:ää ja Ympäristöopas 2013 Lämpökaivo -määräyksiä ja ohjeita. (9, s. 2.)

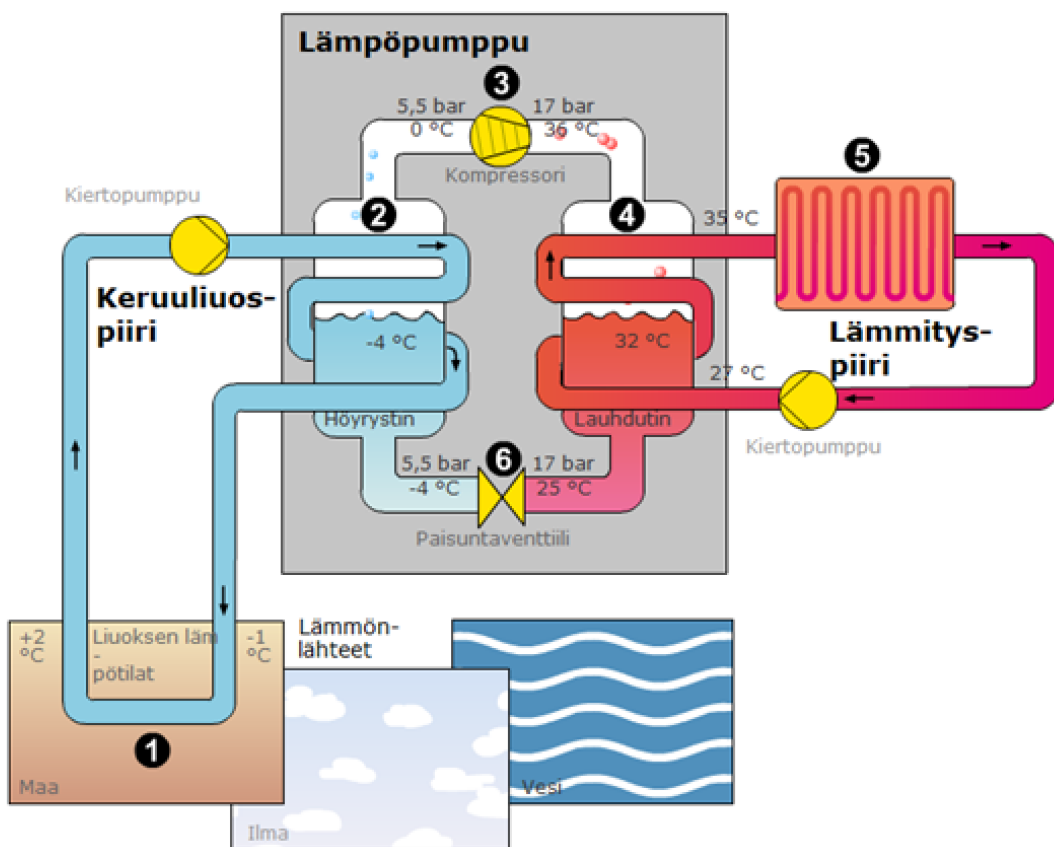
TAULUKKO 2. Porakaivon etäisyydet muihin rakenteisiin (9, s. 4)

Toinen energiakaivo	15 m
Rakennuksen seinälinja	3 m
Viemärit ja vesijohdot	
oma	3 m
muiden	5 m

2.7 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumpulla siirretään lämpöä keruupiiristä rakennusten käyttöön sähkön avulla. Lämmönlähteinä keruuliukselle voidaan käyttää maata, ilmaa tai vettä.

Keruupiirissä kiertävä lämmönkeruuneste lämpenee joitakin asteita ja se höyrystää lämpöpumpun kierrossa olevan kylmäaineen. Kylmäaine paineistetaan lämpöpumpun kompressorilla. Kompressorilta kylmäaine kiertää lauhduttimeen, jossa lämpö siirretään lämmityspiiriin. Lämmityspiirissä lämmennyt vesi lämmitteää rakennuksen lämmityskiertoa, lämmintä käyttövettä tai molempia. Lauhduttimesta kylmäaine menee paisuntaventtiiliin, joka laskee paineen takaisin höyrystimen paineeseen. Kuvassa 7 on lämpöpumpun toiminta selkeästi toimintakaaviossa. Lämpöpumput ovat parhaimmillaan matalan lämpötilan lämmityksessä. (10, s. 10.)

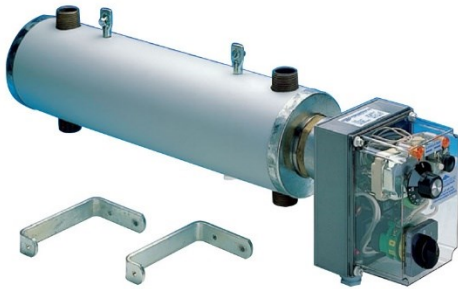


KUVA 7. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (11)

2.8 Sähkökattila ja -vastus

Mikäli käytettävissä ei ole polttoenergiaa tai kaukolämmitystä lisälämmönlähteenä lämpöpumpuille, voidaan lisälämmitys hoitaa sähkökattilalla tai -vastuksella. Sähkökattilan etu on sen nopeassa ohjattavuudessa, joten esimerkiksi käyttöveden lämpötilan nostaminen tavoitteeseen on käy helposti.

Läpivirtaussähkökattilaa kannattaisi harkita myös rakennuksen lämmityskierron tai lämpimän käyttöveden lämpötilan nostamiseksi tavoitearvoon. Tämän tyyppinen kattila voisi toimia hyvin, kun on lämpöpumppu käytössä. Kuvassa 8 on esimerkki 9 kW:n läpivirtauskattilasta.



KUVA 8. Läpivirtauskattila Lämpöparoni 9 kW (12)

3 KOHDEKERROSTALO JA SEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

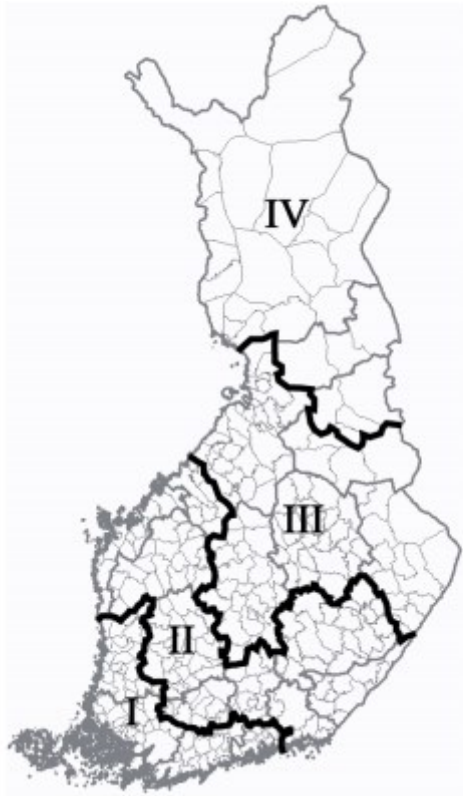
3.1 Kulutuksen määrittämisestä

Rakennuksen energiaremonttia suunniteltaessa täytyy ensin määrittää kohteen energiankulutus ja tarvittava lämmityksen huipputeho. Kaukolämpöasiakkailla on yleensä saatavilla vähintään vuositason energiamäärän kulutustieto. Kaukolämmöntuottajalta voidaan kuitenkin tarvittaessa saada jopa tuntikohtaista dataa, jolloin tarvittava lämmitysteho saadaan määritettyä hyvinkin tarkasti. Mikäli rakennusta lämmitetään esimerkiksi suoralla sähköllä tai sähkövaraajalla, on lämmitysenergian määrittäminen haastavampaa, koska sähkölaskuissa ei eritellä sähkön käyttöä eri kohteisiin. Silloin yksi tapa on määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaisesti käyttösähkön osuus kulutuksesta, ja laskea sen perusteella lämmitykseen tarvittava energian määrä.

Mikäli käyttösähkön osuutta ei ole kuitenkaan saatavilla, toinen vaihtoehto on tehdä rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusohjeen mukaan. Sillä saadaan laskettua kuukausitasoinen lämmitysenergian tarve. Kohteen tietojen tulisi olla laskennan toteuttamiseen mieluiten hyvin tarkasti tiedossa, jotta määrittäminen voidaan pitää todellisena. Tätä tapaa käytetään uusien kohteiden määrittämisessä, kun lämmitysenergian kulutuksesta ei ole olemassa vielä dataa. (13, s. 4.)

3.2 Säävyöhyke ja mitoittava lämpötila

Energiankulutuksen ja lämmitysenergian tarpeen laskemisessa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelmista saatuja säävyöhykkeitä. Suomi on jaettu niissä neljään eri säävyöhykkeeseen. Säävyöhykkeille on määritetty mitoittavat ulkoilman lämpötilat, joilla rakennusten energiankulutus täytyy määrittää. Tällaisella määrittämisellä varmistetaan siitä, että rakennusten lämmitysjärjestelmän tuotto riittää pitämään lämmön asunnoissa joka tilanteessa ympäri vuoden. Kuvassa 9 on Suomen säävyöhykejako, josta voidaan katsoa, että Oulu sijaitsee säävyöhykkeellä 3. (14, s. 29.)



KUVA 9. Suomen säävyöhykkeet (14, s. 29)

Säävyöhykkeiden mitoittavat ulkoilman lämpötilat ja vuoden keskimääräiset lämpötilat esitetään taulukossa 2. Tämän opinnäytetyön kohteena oleva kerrostalo sijaitsee säävyöhykkeellä III, joten lämmityksen huipputehon määrittämiseen käytetään mitoittavana ulkoilman lämpötilana -32 °C :ta.

TAULUKKO 2. Suomen säävyöhykkeiden mitoituslämpötilat (14, s. 29)

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila
	°C	°C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

3.3 Kohdekerrostalo

Lämmitysenergian kulutus määritetään usealla tavalla. Ensin määritetään vuosikulutuksen ja keskimääräisen ulkolämpötilan perusteella lämmitysenergian kulutus. Toisessa määrittelyssä käytetään hyödyksi Oulun Energialta saatavaa tuntidataa, jolla saadaan tehtyä varmasti tarkin ja varmin määrittely. Tätä varten tarvitaan ulkolämpötila siltä vuodelta, jonka ajalta tuntidata on kerätty. Ulkolämpötilaa verrataan Oulun mitoituslämpötilaan -32 °C . Jos tarkasteluvuoden ulkolämpötila on kaukana mitoituslämpötilasta, voidaan tulokset suhteuttaa ulkolämpötilan avulla vastaamaan riittävää tehoa. Kolmanneksi katsotaan lämmitysjärjestelmäyhtiö Högforsilta saatua määrittelyä tehon tarpeesta ja vertaillaan sitä laskennalliseen ja todelliseen tehon tarpeeseen.

Määrittelyssä käytetyn rakennuksen tiedot ovat seuraavat:

Rakennuksen tiedot

Sijainti	Säävyöhyke 3	
Rakennusvuosi	1979	
Asuntojen lukumäärä	68	
Lämmin pinta-ala	4113	m ²
Lämmin tilavuus	16140	m ³
Ilmanvaihto	Poistoilmaimuri	
Lämmitys	Kaukolämpö	
Lämmönjako	Patterilämmitys	

Lämmitysenergian ja veden kulutus

Kaukolämmön kulutus vuodessa	667 000	kWh
Käyttöveden kulutus	4608	m ³

3.4 Lämmitystehon tarpeen määrittäminen vuosidatasta ulkolämpötilan perusteella

Kaukolämmön kulutus vuonna 2019 on kohteessa ollut kokonaisuudessaan 667 MWh ja käyttöveden kulutus on ollut 4608 m³. Näiden tietojen perusteella alettiin määrittää kulutuskäyrää taloyhtiölle. Alkutietoihin tarvitaan myös keskimääräiset ulkolämpötilat vuoden 2019 kuukausilta Oulusta. Ne esitetään taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Ulkolämpötilat Oulussa vuonna 2019 kuukausittain (15)

Kuukausi / vuosi	Lämpötila keskiarvo (°C)
1	-12,5
2	-6,6
3	-3,7
4	3,5
5	7,7
6	14,5
7	15,2
8	13,9
9	9
10	1,9
11	-3,1
12	-1,9
2019	3,2

Rakennuksen lämmitysenergian määrittäminen aloitetaan määrittämällä käyttöveden osuus. Kun tästä ei ole saatavilla tarkkaa tietoa, käytetään määrittämiseen apuna Suomen rakentamismääräyskokelman energiatehokkuuden ohjeistusta. Käyttöveden lämmitysenergian tarve voidaan määrittää kaavalla 1, koska kaukolämmöllä lämmitetyssä järjestelmässä ei tule muun muassa varaajahäviöitä. (13, s. 26.)

$$Q_{LKV} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} T_{lkv} / 3600$$

KAAVA 1

Q_{LKV} = lämpimän käyttöveden nettotarve [kWh]

ρ_v = veden tiheys [1000 kg/m³]

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti [4,2 kJ/(kg*K)]

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus [m³]

ΔT_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötilaero [°C]

Lämpimän käyttöveden kulutuksen laskemisessa käytetään oletusta, että lämpimän käyttöveden osuus koko käyttöveden osuudesta on 40 %. Lämpimän käyttöveden osuus arvioidaan ohjeen mukaisesti. Lämpötilaerona käytetään rakentamismääräyskokoelmasta saatua arvoa 50 °C. (13, s. 27.)

Lämpimän käyttöveden energian osuus on vuoden 2019 ajalta

$$Q_{LKV} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \frac{kJ}{kg * K} * (4608,3 m^3 * 40 \%) * 50 \text{ °C} / 3600 = 107,5 MWh.$$

Tästä lasketaan rakennuksen lämmittämiseen käytettävän lämmitysenergian määrä kaavalla 2.

$$Q_{Lämmitys} = Q_{KL} - Q_{LKV} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$Q_{Lämmitys} = 670 MWh - 107,5 MWh = 562,5 MWh$$

Oulun lämmitystarveluvun ollessa heinäkuussa 18 tehdään oletus, että heinäkuussa rakennusta ei tarvitse lämmittää ollenkaan. Kuukausittaisen lämmitystarpeen osuus vuosittaisesta lämmönmäärästä lasketaan tässä työssä siten, että vähennetään kuukauden lämpötilakeskiarvosta heinäkuun keskimääräinen lämpötila ja siitä otetaan itseisarvo. Tämä arvo jaettuna koko vuoden yhteissummalla saadaan laskettua suhteellinen osuus kuukauteen tarvittavasta lämmitysenergian määrästä. Käytetään esimerkkinä tammikuuta kaavassa 3.

$$Q_{lämmitystammikuu} = \frac{|T_{tammikuu} - T_{heinäkuu}|}{T_{|\Sigma tam - jou|}} * Q_{Lämmitys} \quad \text{KAAVA 3}$$

$$Q_{lämmitystammikuu} = \frac{|-12,5 \text{ °C} - 15,2 \text{ °C}|}{144,5} * 562,5 MWh = 108 MWh$$

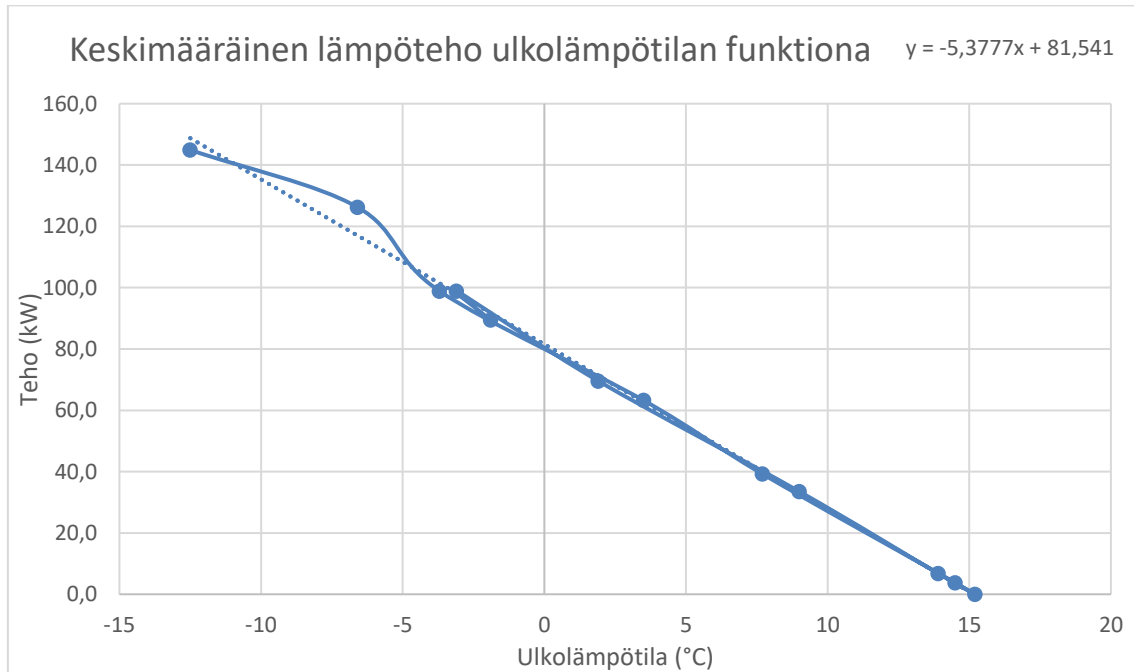
Tammikuun lämpöenergian tarve on siis tällä kaavalla laskettuna 108 MWh.

Kuukauden keskimääräinen lämmitysteho lasketaan kaavalla 4.

$$\phi_{lämmitystammikuu} = \frac{Q_{lämmitystammikuu}}{t} \quad \text{KAAVA 4}$$

$$\Phi_{\text{lämmitystammikuu}} = \frac{108 \text{ MWh}}{24 \text{ h} * 31 \text{ d}} * 1000 \frac{\text{kW}}{\text{MW}} = 145 \text{ kW}$$

Näin saadaan luotua jokaisen kuukauden keskilämpötilan ja keskimääräisen lämmitystehon perusteella lämmitystehontarpeen kaavio, josta saadaan määritettyä huipputeho mitoituslämpötilassa. Kuvassa 10 esitetään keskimääräinen lämmityksen teho keskimääräisen ulkolämpötilan funktiona.



KUVA 10. Keskimääräinen lämpöteho ulkolämpötilan funktiona

Tämän perusteella lasketaan lineaarisen trendiviivan avulla mitoituslämpötilassa lämmitykseen tarvittava teho, jota verrataan myöhemmin muilla tavoilla saatuihin tuloksiin.

$$\Phi_{\text{mit,lämpötila}-32^{\circ}\text{C}} = -5,3777 * -32^{\circ}\text{C} + 81,541 = 253,62 \text{ kW}$$

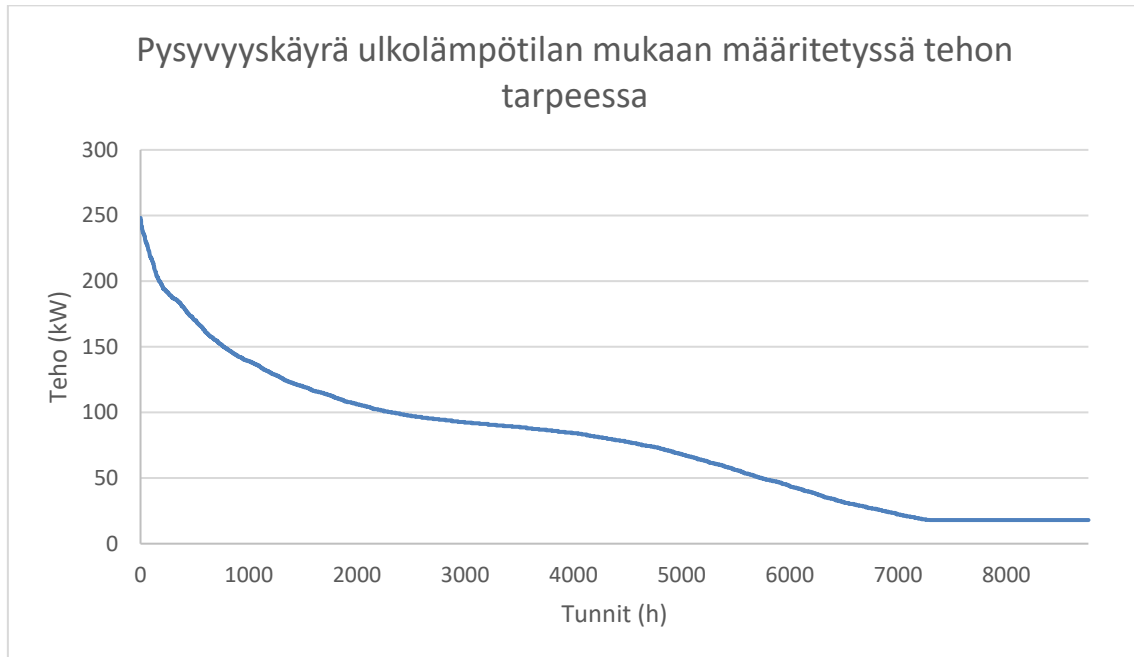
Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava vuoden keskimääräinen teho lasketaan kaavalla 5. Keskimääräisen tehon perusteella saadaan pysyvyyskäyrälle minimitiho.

$$\Phi_{\text{kk. LKV}} = \frac{Q_{\text{LKV}}}{t}$$

KAAVA 5

$$\phi_{kk. LKV} = \frac{107,5 \text{ MWh}}{8760 \text{ h}} = 12,3 \text{ kW}$$

Tämän saadun lineaarisen kaavan ja ulkolämpötilan avulla luodaan pysyvyyskäyrä, jota voidaan hyödyntää tarvittaessa lämpöpumpun määrittämisessä. Kuvassa 11 on esitetty vuoden 2019 ulkolämpötilojen perusteella luotu tarvittavan lämmityksen pysyvyyskäyrä.



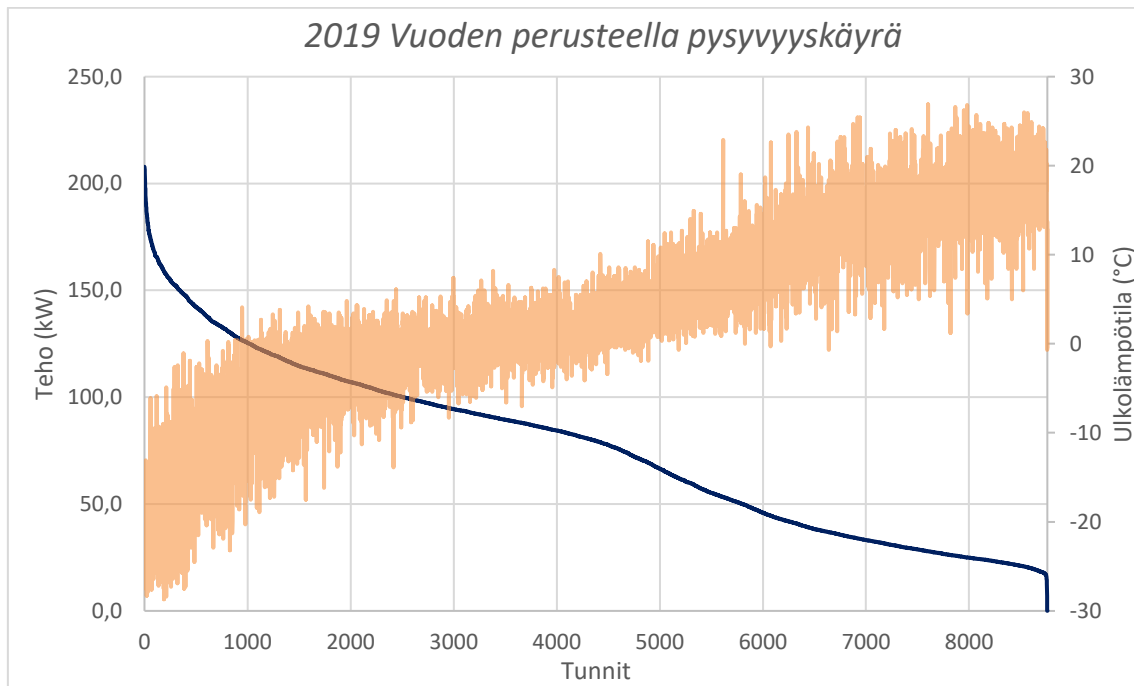
KUVA 11. Pysyvyyskäyrä ulkolämpötilan mukaan tehdyssä määrittäyksessä

3.5 Lämmitystehon tarpeen tarkastelu tuntidatan perusteella

Lämmityksen tehon tarpeen tarkastelu todellisella datalla on paras tapa määrittää rakennuksen tehon tarve ja pysyvyyskäyrä. Tällöin voidaan tehdä oletus, että määrittäminen on täysin oikea, koska energiankulutus on todellista kulutusta. Tämä edellyttää, että tarkasteluvuonna tai -ajanjaksoilla on riittävästi kylmiä päiviä. Kesäajan tiedoilla voidaan tehdä käyttöveden osuuden määrittäminen. Silloin rakennusta ei oletettavasti tarvitse lämmittää ollenkaan, joten kaikki kulutettu energia on käyttöveden lämmitykseen käytettyä energiaa. Tuntidata tähän opinnäytetyöhön saatiin kaukolämmön tuottajalta Oulun Energia Oy:ltä.

Data on otettu kaukolämmön kaukolämpöenergian mittarilta, joten se näyttää lämmityksen ja lämpimän käyttöveden yhteiskulutuksen jokaiselta tunnilta. Kulutushuippu voi olla suurempi, jos molempien kulutushuippu sattuisi yhtä aikaa kohdalleen. Ulkolämpötila on kuitenkin ollut 151 tuntia kylmempi kuin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten tuolle ajanjaksolle on todennäköisesti osunut myös lämpimän käyttöveden kulutushuippu. Se on alle tunnin mittainen eikä sen vuoksi näy tuntimittauksissa. Lämpöenergian käyttöä ei ole tasaamassa esimerkiksi lämpimän käyttöveden varaa, jolla voitaisiin tasata jossain määrin kulutuksen huippuja.

Kuvassa 12 esitetään lämpötilan pysyvyyskäyrä vuoden 2019 ajalta tuntidatan perusteella. Kaaviossa jokaisen tunnin teho on tuntinen mitattu teho. Tätä kaaviota voidaan luotettavasti hyödyntää myös lämpöpumpun määrittämisessä. Alimmillaan ulkoilman lämpötila vuonna 2019 on ollut $-28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten Oulun mitoituslämpötila on lähes toteutunut. Riittävä mitoitus-teho voidaan määrittää pysyvyyskäyrän loppuosan jyrkkyyden perusteella.

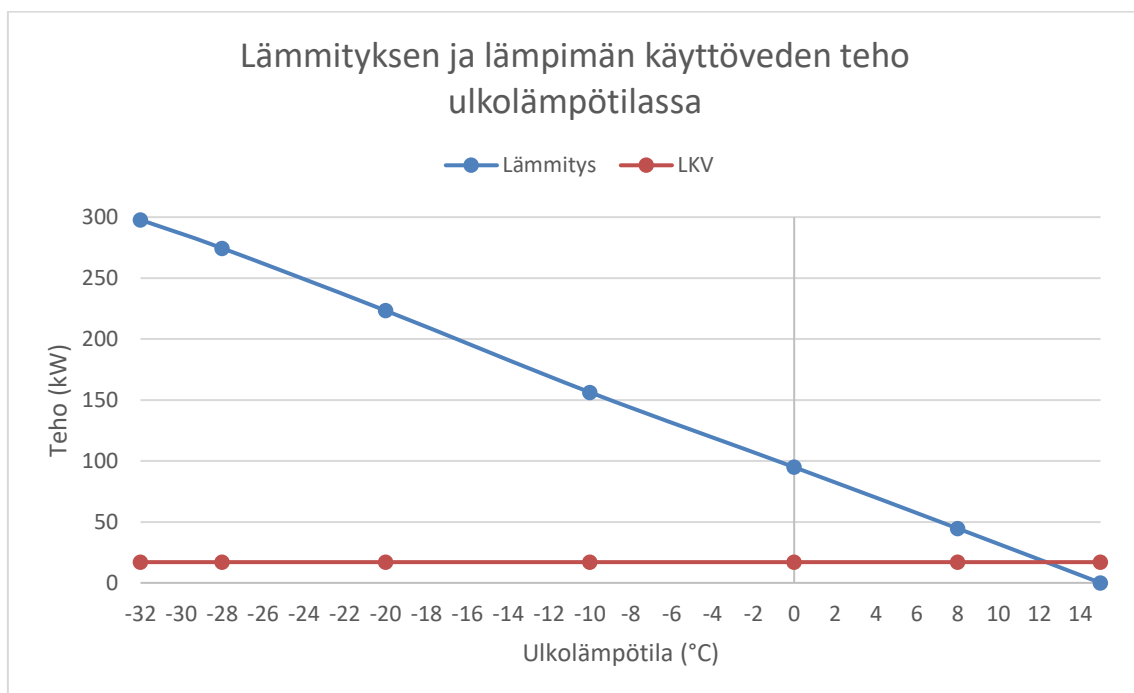


KUVA 12. Kohteen vuoden 2019 pysyvyyskäyrä. Ilman lämpötila seuraa tehon mittaushetkeä.

Vuonna 2019 tuntinen huipputeho on ollut 210 kW. Oulun mitoitustilalämpötila on $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pysyvyyskäyrää luettaessa voidaan todeta, että lämpötilakorjattu tuntinen huipputeho kyseisessä kerrostalossa on noin 220–230 kW. Tämä teho on sellainen, joka varmasti riittää kattamaan rakennuksen lämmitystarpeen. Kuitenkin lämpimän käyttöveden hetkellinen teho nostaa tarvittavan hetkellisen tehon määrän reilusti suuremmaksi. Sitä voidaan tarkastella esimerkiksi lämmönsiirtimeen mitoitustehojen avulla.

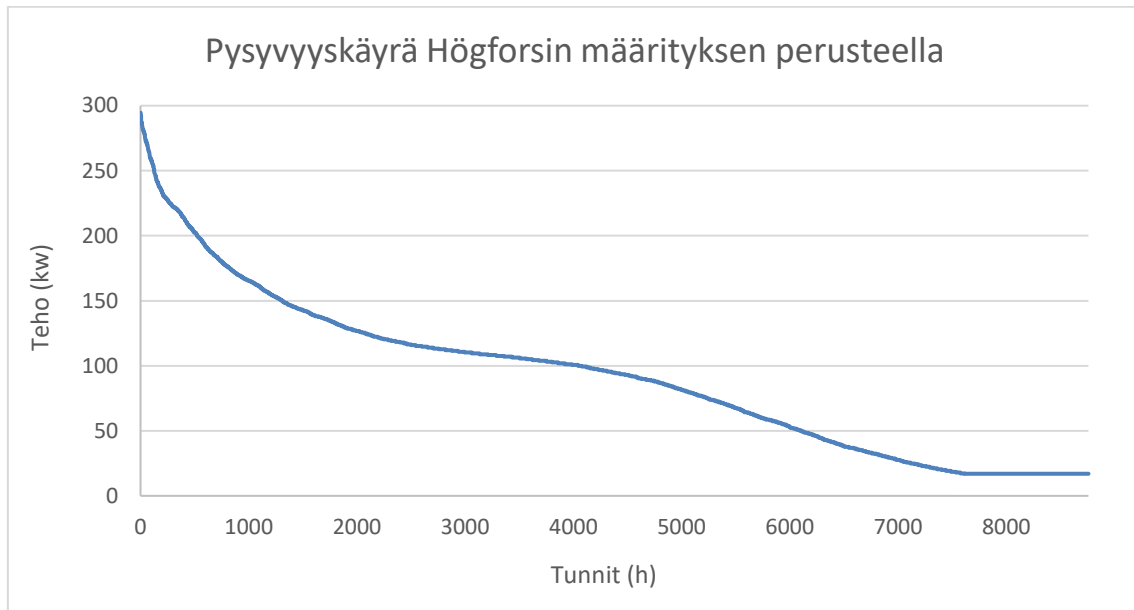
3.6 Högforsin lämmitystehontarpeen määrittäminen

Kuvassa 13 esitetään Högforsin määrittämä rakennuksen tarvitsema teho ulkolämpötilan mukaan lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle. Seuraavassa luvussa vertaillaan todellista, laskennallista ja Högforsin tehon tarpeen määrittämistä. Minimiteho tunnin ajanjaksolla on 17 kW käyttöveden lämmityksen tarve, kun ulkolämpötila ylittää 15 astetta.



KUVA 13. Högforsin kaavion perusteella luotu tehontarpeen taulukko ulkolämpötilan funktiona (16)

Högforsin määrittämän tehon ja ulkolämpötilan funktion perusteella esitetään pysyvyyskäyrä (kuva 14). Tuntinen huipputeho pysyvyyskäyrällä on 290 kW.

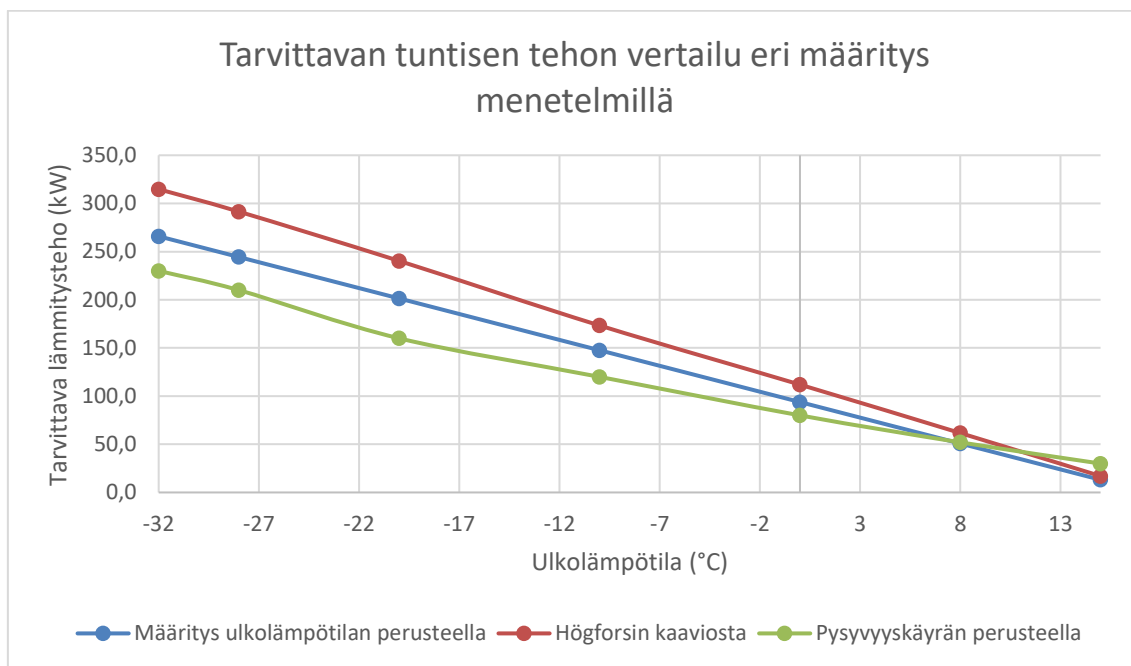


KUVA 14. Pysyvyyskäyrä Högforsin määrittymisen perusteella

3.7 Mitoitustehon vertailu

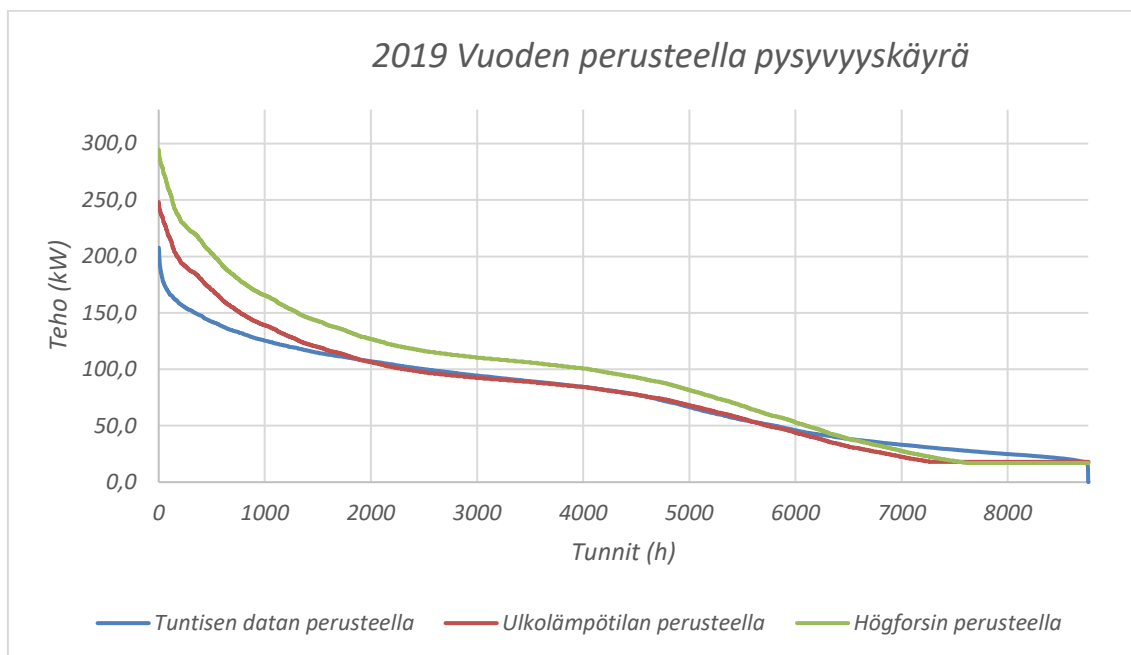
Edellä olevissa määrittymisissä on tarvittavassa tehossa jonkin verran eroa. Tämä voi osoittautua ongelmaksi erityisesti silloin, jos jo olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään valitaan tai uusitaan laitteita. Tällöin voitaisiin tulla tilanteeseen, jossa uusi järjestelmä on mitoitettu liian suureksi. Liian suuret laitteistot aiheuttavat esimerkiksi pätkivän lämpöpumpun käytön ja turhan suuren investointikustannuksen.

Kuvaa 15 tarkasteltaessa voidaan todeta, että erilaisilla määrittymistavoilla saadaan erilaiset tarvittavat lämmitystekot rakennukseen. Esimerkiksi huipputehossa mitoitusslämpötilassa on lähes 100 kW:n ero.



KUVA 15. Tarvittavan kokonaislämmitystehon vertailu yllä olevien määrittämenetelmien perusteella

Kuvassa 16 on yllä olevien mitoituskäyrät. Pysyvyyskäyrän profiili laskennallisissa menetelmissä noudattaa suhteellisen hyvin todellisen pysyvyyskäyrän muotoa. Tämän perusteella voidaan sanoa, että laskennallinen menetelmä voi olla lähes yhtä luotettava kuin todelliseen dataan perustuva. Huipputehoa määritettäessä kuitenkin voi tulla huomattavia eroja. Jos kaukolämpö jää uuden energiaseläyksen rinnalle, ei eroilla ole niin suurta merkitystä, koska kaukolämmön teho riittää varmasti kattamaan uuden järjestelmän rinnalla huipputehon tarpeen. Mitoitus tässä työssä tehdään pysyvyyskäyrän osalta vuoden 2019 todellisen datan perusteella. LKV:n hetkellinen teho täytyy hoitaa tällöin esimerkiksi varaajilla.



KUVA 16. Pysyvyyskäyrien vertailu

3.8 Lämpimän käyttöveden sekä patteriverkoston lämpötila ja teho

Lämpimän käyttöveden ja patteriverkoston veden lämpötilat poikkeavat toisistaan vuodenajan mukaan. Talviaikaan patteriverkoston syötettävä lämpötila on korkeampi kuin lämpimän käyttöveden lämpötila. Kesäaikaan patteriverkoston syötettävä lämpötila on alhainen ja verkostoa ei tarvitse lämmittää ollenkaan, kun ulkolämpötila nousee yli 15 asteeseen. Lämmönsiirtimien mitoitus tiedot esitetään taulukossa 4. Nykyiset lämmönsiirtimet ovat Cetetherm Oy:n valmistamat ja niiden teho vastaa mitoitus tehoja.

TAULUKKO 4. Lämmönsiirtimien mitoitus tiedot

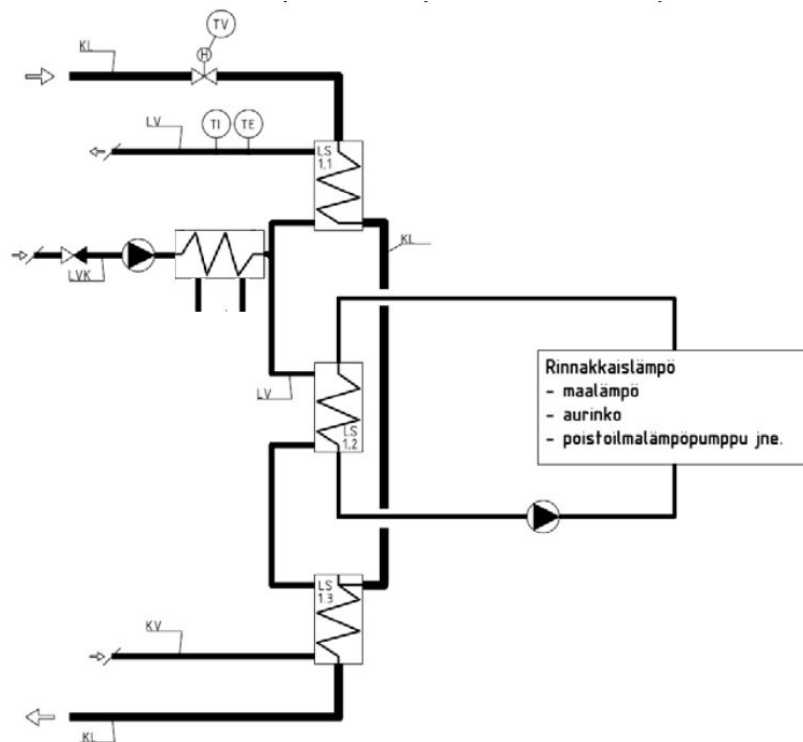
	Käyttövesi		Lämmitys	
Teho (kW)	400		265	
	Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio
Lämpötila (°C)	70–25	10–55	115–55	50–80
Virtaus (l/s)	2,13	2,12	1,05	2,11
Painehäviö (kPa)	12	12	3	10

3.8.1 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämpötila on oltava vähintään 55 °C. Kuitenkin hanasta tuleva vesi saa olla enintään 65 °C, jotta se ei aiheuta palovammoja. Kun käyttöveden lämpötila on riittävä, siinä ei pysty esiintymään haitallista legionellabakteeria. Lämpöpumppua valittaessa tämä on hyvä ottaa huomioon, jotta sillä voidaan tuottaa riittävän kuumaa vettä. (17.)

Kohteessa käyttöveden tavoitelämpötila on 58 °C. Käyttöveden lämmityskierrossa on asuntojen kylpyhuoneiden vesikiertoinen lattialämmitys. Tämä hankaloihtaa käyttöveden tehontarpeen määrittystä, koska kylpyhuoneiden lämmittäminen kuluttaa koko ajan energiaa. Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusteho on 400 kW. Mitoituslämpötilassa 55–10 °C on virtaus 2,12 dm³/s. Pysyvyyskäyrältä ja tuntidatasta tarkasteltuna keskimääräinen käyttöveden teho on 20–40 kW. Mitausajankohdassa ulkolämpötilan ollessa –13 °C lämpimän käyttöveden menoveden lämpötila oli 54 °C ja kierron paluulämpötila oli 48 °C. Menoveden lämpötila oli määrittäyshetkellä tavoitetta alempi, koska määrittäminen on tehty lyhyellä aikavälillä.

Lämpöpumpulla lämpöä tehtäessä tarvitaan lämminvesivaraaja, joka tasaa kulu- ja tuotantohiippuja. Lämpöpumpun käyttö on silloin tasaisempaa ja ei rasita pumppua niin paljon. Ongelmana kuitenkin on, että lämpöpumpuilla maksimituotolämpötilat ovat yleensä 55–60 °C. Tämän vuoksi lämpimän käyttöveden lämmityksessä lämpöpumpulla tulisi olla varaja lämpöpumpun käymisen vakauttamiseksi. Kaukolämmön ollessa rinnakkaisena lämmönlähteenä kaukolämpö lämmittää käyttöveden tavoitelämpötilaan. Julkaisun K1/2020 mukaan (kuva 3) lisälämmön lämmönsiirrin tulee kaukolämmönsiirtimien väliin. Kylpyhuoneiden lattialämmityksen ja lämpimän käyttöveden kierrossa tapahtuvien lämpöhäviöiden takia kannattaa kuitenkin laittaa lisälämmönsiirrin vielä lämpimän käyttöveden paluukiertoon (kuva 17). Lisälämmönsiirtimen hinta otetaan huomioon investoinnissa.

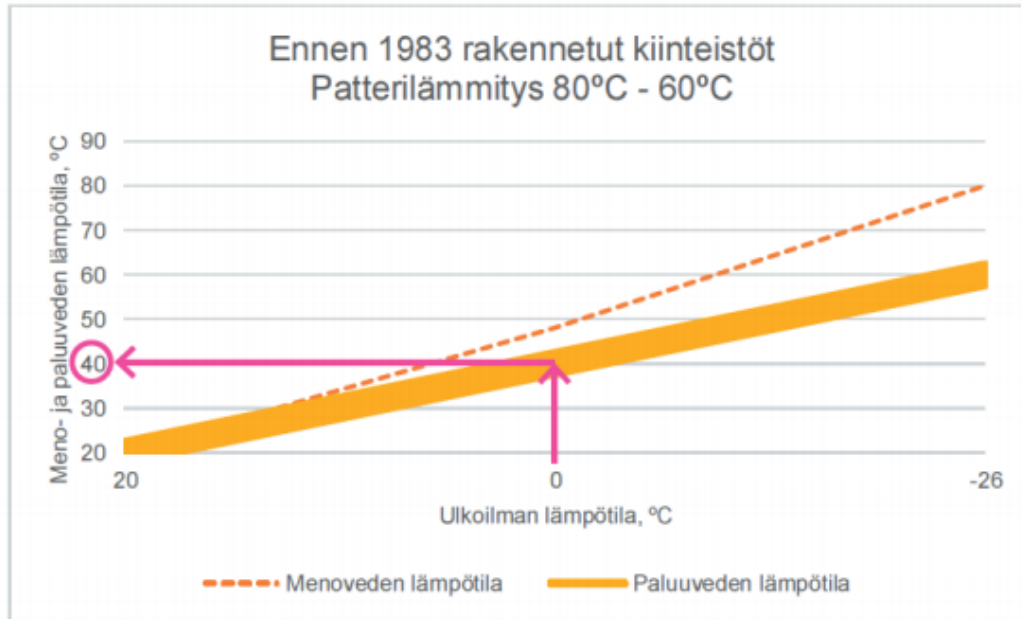


KUVA 17. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen lisälämmönsiirtimellä (muokattu kuvasta 3)

3.8.2 Lämmitys ja patteriverkosto

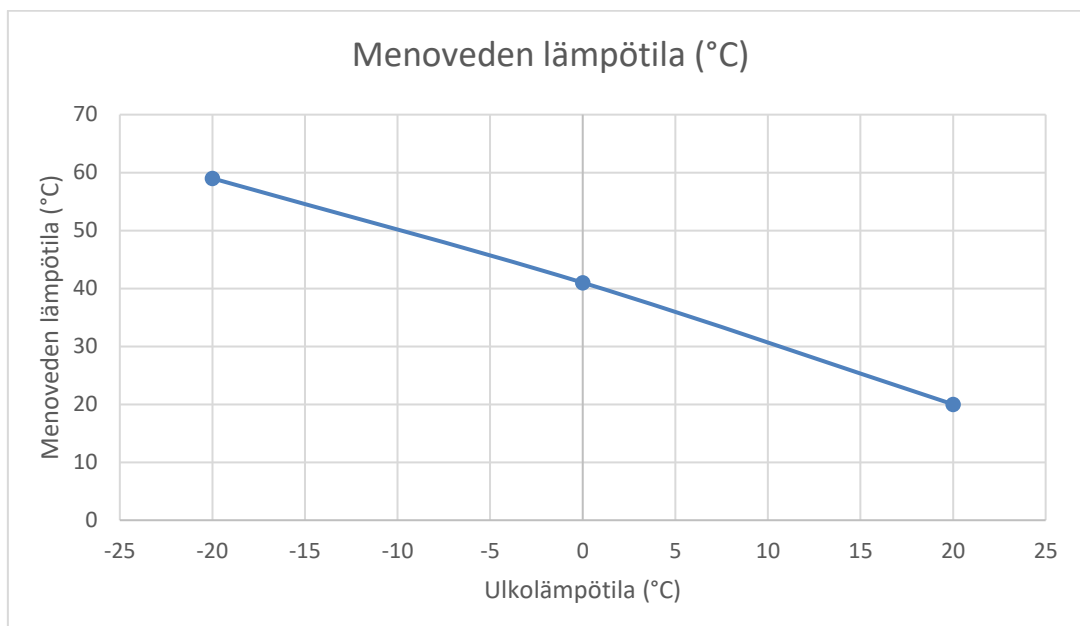
Kohteen kerrostalossa on alkuperäiset patterit. Patteriverkostolle ei ole tehty suuria remontteja sen olemassaolon aikana. Patteriverkoston remontilla saataisiin tarvittavaa menolämpötilaa alemmaksi. Vaihtoehtoina remonteille voisi olla patterien ja termostaattien uusiminen sekä verkoston tasapainotus. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan arvioida patteriremontin vaikutuksia.

Patteriverkoston ohjeellinen meno- ja paluuvedenlämpötilan käyrä ennen vuotta 1983 rakennetuissa kiinteistöissä esitetään kuvassa 18. Tätä voidaan pitää ohjeellisena arvona, ellei paikan päällä käydä katsomassa todellista käyrää.



KUVA 18. Patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötilat ennen vuotta 1983 rakennetuissa kiinteistöissä (18, s. 8)

Kohteessa päästiin katsomaan lämmönjakokeskukselta lämmityksen menoveden käyrä. Näin voidaan määrittää tarkasti tarvittavan menoveden lämpötila ulkolämpötilan mukaan. Tästä on paljon hyötyä lämpöpumpun käyttöasteen määrittämisessä ja hyötysuhteen määrittämisessä. Mitä korkeampi menoveden lämpötila on, sitä matalammalla ulkolämpötilalla lämpöpumpun COP-arvo huononee ja kannattavuus laskee. Kuvassa 19 on lämmityskierron menoveden lämpötila ulkolämpötilan funktiona. Kaavion perusteella lineaarisella kaavalla laskettuna menoveden lämpötila on 71,2 °C mitoituslämpötilassa –32 °C.



KUVA 19. Lämmityskierron menoveden lämpötila ulkolämpötilan funktiona

Lämpöpumppua valittaessa menoveden säätökäyrä on merkittävässä osassa. Se määrittää pitkälti sen, kuinka kylmään ulkolämpötilaan asti lämpöpumpulla voidaan tuottaa lämpöä. Yleensä lämpöpumput pystyvät lämmittämään lämmityskierron maksimissaan 60 °C:seen. Jos veden lämpötila halutaan sitä kuumemmaksi, täytyy valita tulistussiirtimellä oleva lämpöpumppu. Pelkällä poistoilmalämpöpumpulla saatava teho on koko ajan sama, joten sen riittävyys on täysin kiinni poistoilman määrästä. Hybridijärjestelmänä maalämmön kanssa lämmityskierrosta saatava tehon määrä on sen verran suuri, että lämpöpumppu voidaan hyödyntää maksimaalisesti, mikäli lämpökaivon kapasiteetti riittää. Lämpökaivo mitoitetaan siksi lämpöpumpun mukaan.

4 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN MITOITUS

Poistoilmalämpöpumppua mitoitettaessa täytyy ensin tietää poistuvan ilman määrä kerrostalosta. Kohteessa on kaksi rappukäytävää, joissa molemmissa on omat huippuimurit. Poistoilman määrässä referenssinä käytetään viereistä kerrostaloa, josta on määritetty poistoilman määrä, koska kohteelle määrittäystä ei tehty. Tämän perusteella kohteen kerrostalon poistoilmavirtaus yhdestä huippuimurista on 950 l/s. Tarkka poistoilmavirtaus täytyy mitata ennen lopullista LTO-yksikön ja lämpöpumpun mitoitusta.

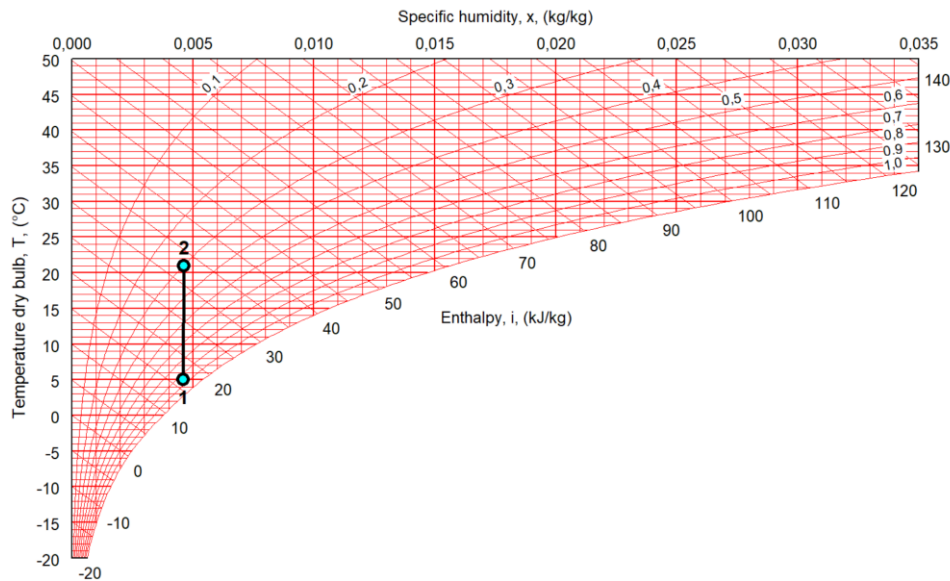
Aluksi lasketaan poistuvasta ilmasta saatava lämpötehon määrä kaavalla 6. Lämmöntalteenotolle tulevan sisäilman lämpötila on 21 °C ja lämpöpumpulle menevä lauhdutinnesteen jäädyttämä ilma on 5 °C. Ilman tiheys on 1,2 kg/m³ ja ominaislämpökapasiteetti 1,0 kJ/kg°C.

$$\Phi_{LTO} = \rho * q_v * c_p * \Delta T$$

KAAVA 6

$$\Phi_{LTO} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (21^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 36,5 \text{ kW}$$

5 °C:n poistoilmalla pyritään siihen, että talviaikaan poistuva ilma ei saavuta kastepistettä ja näin kondensoi kosteutta lämmönsiirtimien pinnalle. Kuvasta 20 nähdään, kuinka 21 °C:n (kosteus 30 %) sisäilma ei jäähtyessään saavuta vielä kosteuspistettä. Kesäaikaan sisäilman kosteuden ollessa korkeampi osa ilman lauhduttamisesta on märkälämmönsiirtoa, mikä ei haittaa lämpimän ulkoilman takia.



KUVA 20. Talvella sisäilman lauhtuminen Mollier-diagrammissa (19)

Lämmönsiirtimien toisiopuolella mitoitus tehdään käyttäen 35-prosenttista etyleeniglykolia lämmönsiirtonesteenä. Mitoituksessa kokonaismassavirta on 2 kg/s. Lämmönsiirtoneste lähtee lämpöpumpulta yhtenäistä linjaa pitkin, mutta haarautuu lämmönsiirtimille mennessä. Lämmönsiirtimet ovat lämpöpumppuun nähden rinnan kytkettyinä. Nesteen tulolämpötila on 2 °C. Kaavalla 7 lasketaan poistuvan nesteen lämpötila, kun lämmönsiirtimeltä otetaan 36,5 kW:n teho. (20.)

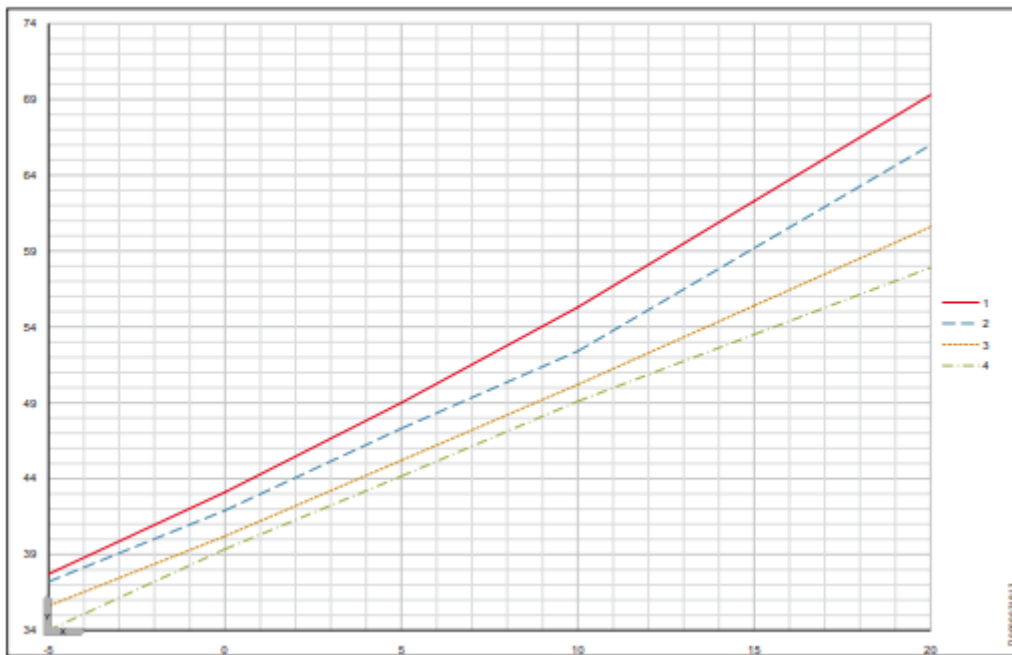
$$T_2 = T_1 + \frac{\Phi_{LTO}}{\rho \cdot q_v \cdot c_p} \quad \text{KAAVA 7}$$

$$T_2 = 2 \text{ °C} + \frac{36,5 \text{ kW}}{1044,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 3,68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 7 \text{ °C}$$

Tässä opinnäytetyössä tehdään mitoitus varmistaen, että tuleva ilma ei saavuta talvellakaan kastepistettä. Tällöin ei tarvitse käyttää sähkövastuksia sulattamaan jäätyvää kosteutta lämmönsiirtimeltä. Monesti lämpöpumppuja lasketaan ja mitoitetaan jäähdyttämään poistuva ilma jopa -10 °C:seen. Silloin sähkösaattokaapelin käyttö on niin suurta, että lämpöpumpun COP-arvo laskee. Se ei ole järkevää, kun kaukolämmitys on rinnalla, koska kaukolämmityksellä lämmittäminen tulee halvemmaksi.

4.1 Lämpöpumpun valinta ja pysyvyyskäyrä

Lämpöpumpun valinnassa hyödynnetään Stiebel Eltronin materiaaleja. Heidän mallistostaan valitaan myös lämpöpumppu, koska materiaaleissa on kattavaa tietoa lämpöpumpun tehokäyrästä. Lämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa ratkaisevasti lämpöpumpulle tulevan nesteen ja lämmityskierron menoveden lämpötila. Stiebelin kuvastosta löytyy otto- ja lämpöteho eri menoveden lämpötiloilla (kuva 21).



KUVA 21. Stiebel WPF 40 -lämpöpumpun lämpöteho tulevan WQA-aineen lämpötilan perusteella eri menovirtauslämpötiloilla (1. 35 °C, 2. 45 °C, 3. 55 °C ja 4. 60 °C). (21, s. 31.)

Mitoituksen lämpöpumppu valitaan poistoilman saatavan tehon perusteella. Stiebel WPF 40 -lämpöpumppua voidaan hyödyntää optimaalisesti, joten mitoitus suoritetaan sillä.

Kun tässä lämpöpumpussa menoveden lämpötila lämpöpumpulta lämmityskiertoon on 45 °C, kasvaa höyrystimelle tarvittava teho isommaksi kuin kastepisteen kannalta maksimaalinen teho. Menoveden lämpötila lämmityskierrossa on silloin 40 °C, joten ulkolämpötila on plussan puolella. Tällöin kosteasta lämmönsiirrosta ei ole haittaa, koska vesi ei jäädy yli 0 °C:n lämpötilassa.

Mitoituksessa otetaan myös huomioon julkaisun K1/2020 periaate kytkennässä. Lisäksi takaisin palaavaa lämmintä käyttövedtä lämmitetään erillisellä lämmönsiirtimeillä. Tulevan kylmän veden lämmityksessä täytyy ottaa huomioon lämmönsiirron asteisuus, eli kuinka lämpimäksi voidaan lämmin käyttövesi maksimissaan lämmönsiirtimeillä saada suhteessa lämpöpumpulta tulevaan veden lämpöön. Opinnäytetyössä tänä asteisuusarvona käytetään 5 °C, joten kun lämpöpumpulta tulevan veden lämpötila on 55 °C, saadaan sillä tehtyä 50-asteista käyttövedtä. Sama periaate on käytössä myös lämmityskierrossa.

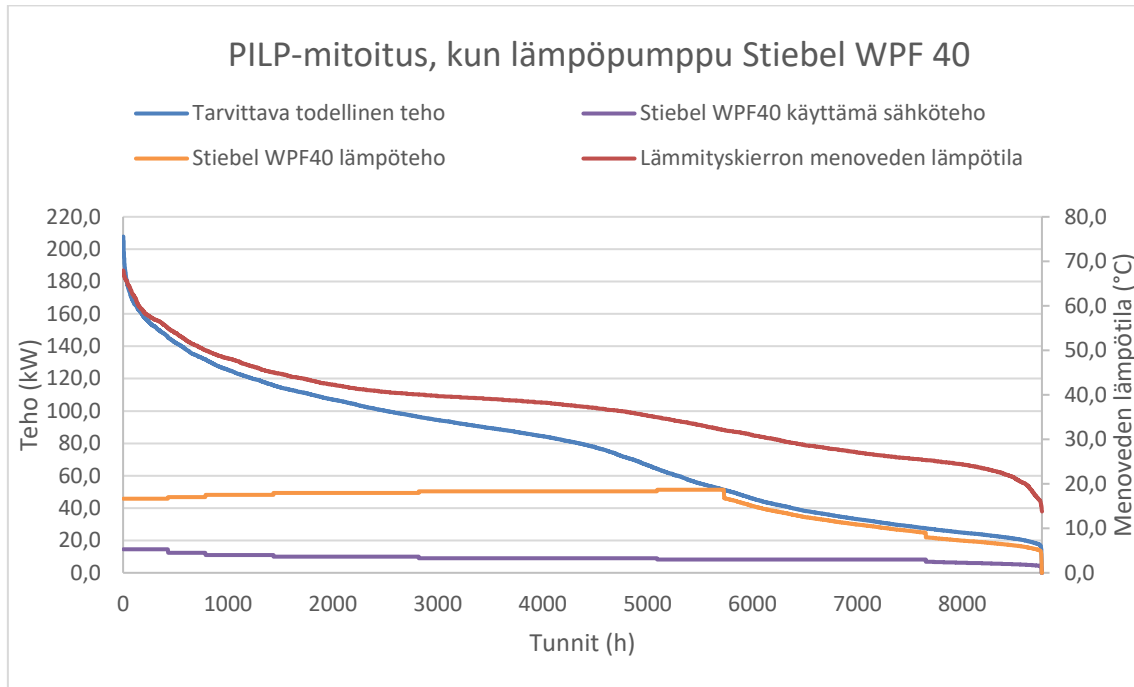
Taulukossa 5 on esitetty mitoituksessa käytetyt arvot. LTO-yksiköltä tulevan nesteen lämpötila lämpöpumpulle on näissä arvoissa 7 °C. Lämpöpumpulta palaava lämpötila riippuu höyrystimen ottamasta tehosta. Mitä kuumempaa lämpöpumpulle tuleva neste on, sitä paremmalla hyötysuhteella lämpöpumppu pystyy ottamaan höyrystimellä tehoa nesteestä. (21, s. 34.)

TAULUKKO 5. Stiebel WPF40 -lämpöpumpun mitoitusarvot (21, s. 30–31)

Stiebel menovesi	Menovesi siirtimeltä	WPF40	Sähköteho (P)	Lämpö- teho	Höyrysti- men teho
°C	°C	COP	kW	kW	kW
60	55	2,85	16,1	45,9	29,8
55	50	3,3	14,2	46,9	32,7
50	45	3,78	12,7	48,1	35,3
45	40	4,25	11,6	49,3	37,7
40	35	4,83	10,4	50,3	39,9
35	30	5,4	9,5	51,3	41,8

Kuvassa 22 esitetään pysyvyyskäyrän avulla poistoilmalämpöpumpun mitoitus, kun lämpöpumpusta hyödynnetään maksimaalinen teho. Lämpöpumpulla katetaan 90 % tarvittavasta lämmitystehosta, kun sen teho ylittää rakennuksen tarvitseman todellisen tehon. Ulkoilman noustessa yli 15 °C:seen oletetaan, että rakennusta ei tarvitse lämmittää vaan kaikki teho on lämpimän käyttöveden lämmittämistä. Tällöin lämpöpumpulla katetaan 80 % lämmitystehontarpeesta. Nämä oletukset tehdään siksi, että lämmin käyttövesi lämmitetään lämpöpumpulla 50 °C:seen ja kaukolämpö lämmittää sen 55 °C:seen. Tarvittavan todellisen tehon

ja lämpöpumpun lämpötehon erotus on kaukolämmöstä tarvittava teho. Lämpöpumpun käyttämä sähköteho ja sen tuottama lämpöteho on mitoitettu lämmityskierron menoveden lämpötilan mukaan.



KUVA 22. Pysyvyyskäyrä Stiebel WPF40 -lämpöpumpulla

4.2 Lämpimän käyttöveden puskurivaraajan mitoitus

Käyttöveden lämmöntarve vaihtelee huomattavia määriä. Kohteena olevassa kerrostalossa on kylpyhuoneissa lämpimällä käyttövedellä vesikiertoinen lattia-lämmitys. Tämä nostaa käyttöveden lämmityksen minimitasoa, koska lämpötehoa tarvitaan koko ajan. Lisäksi se helpottaa käyttöveden lämmityskierron sääntöä. Käyttöveden huipputehoon varaudutaan puskurivaraajalla, jotta lämpöpumppu saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti ja lämpöpumpun käyttöaste saadaan tasaisemmaksi.

Varaajaa mitoitettaessa täytyy arvioida lämmityksen huippukulutuksen ajanjakson pituus ja huipputehon tarve. Huippukulutuksen ajanjakson pituudeksi valitaan 10 minuuttia ja huipputehon tarve suhteutetaan lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen. Huipputehon tarpeeksi valitaan 300 kW. Lämpöpumpulla käyttöveden lämmityksestä hoidetaan pääosin lämpötilan nosto 10–50 °C. Kylmän veden esilämmitys ja käyttöveden lämpötilan nosto 58 °C:n tavoitelämpötilaan tehdään

kaukolämmönsiirtimellä. Kaavalla 8 lasketaan lämpimän käyttöveden tilavuusvirtaus, kun käyttövedellä on huippukulutus.

$$q_{v_{LKV}} = \frac{\Phi}{c_p * \rho * \Delta T} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$q_{v_{LKV}} = \frac{300 \text{ kW}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (58 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C})} = 0,0015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Varaajan purkuteho on 250 kW kaavalla 9 laskettuna. Huipputehon aikana käytetään 10 minuuttia, joka on myös varaajan mitoittava purkuaika. Kun varaajalla maksimilämpötila on 55 °C saadaan lämpöpumpulla tuotettua 46,9 kW:n lämpöteho varaajaan. Purkujakson energiankulutus lasketaan kaavalla 10. (22, s. 33.)

$$\Phi_{\text{varaaja}} = q_{v_{LKV}} * c_p * \rho * \Delta T_{\text{varaaja}} \quad \text{KAAVA 9}$$

$$\Phi_{\text{varaaja}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (50 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) * 0,0015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 250 \text{ kW}$$

$$Q_{lv} = (\Phi_{lv} - \Phi_{lp}) * \frac{t}{h} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$Q_{lv} = (250 \text{ kW} - 46,9 \text{ kW}) * \frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} = 34 \text{ kWh}$$

Varaajalle täytyy myös määrittää sallittu lämpötilan lasku purun aikana. Valitaan sallituksi lämpötilan laskuksi 20 °C. Varaajalle voidaan sallia hieman suurempi lämpötilan lasku, koska kaukolämmönsiirrin varmistaa veden lämmityksen ohjearvoon. Huipputehon tarpeen varaajan koko lasketaan kaavalla 11. (22, s. 34.)

$$V_{lv} = \frac{Q_{lv} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{c_p * \rho * \Delta T} \quad \text{KAAVA 11}$$

$$V_{lv} = \frac{34 \text{ kWh} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 20 \text{ }^\circ\text{C}} = 1,45 \text{ m}^3$$

Varaajan latausaika voidaan nyt laskea ja tarkistaa. Latausaika saadaan laskettua kaavalla 12. Varaajan latausajaksi lämpöpumpulla saadaan 43 minuuttia, jota voidaan pitää melko pitkänä aikana.

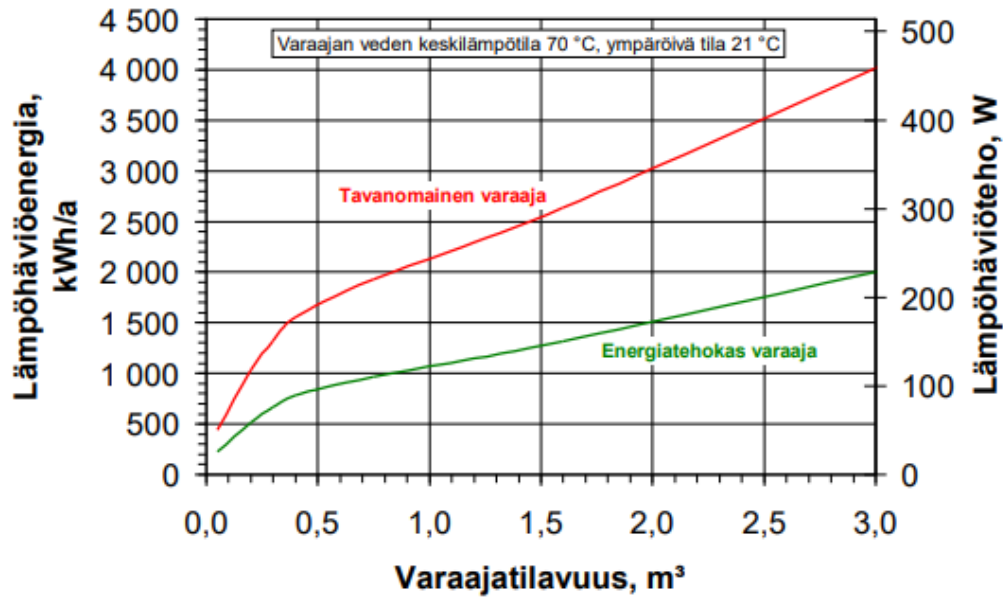
$$t = \frac{34 \text{ kWh}}{46,9 \text{ kW}} = 0,72 \text{ h} = 43 \text{ min} \quad \text{KAAVA 12}$$

Tämän perusteella varaajaksi valitaan 2 m³:n kokoinen varaaja. Kyseisellä varaajalla on mahdollista tuottaa 34 kWh:n purkuenergianmäärä mitoitettulla purkuteholla. Lämpöpumpun teho käytetään kokonaan, kun varaajaa ladataan. Näihin tilanteisiin täytyy myös lämmityskierrossa olla oma varaaja, joka kattaa sen ajan lämmityskierron lämmöntarpeen.

4.3 Puskurivaraajan lämpöhäviö ja sen kustannus

Kun kiinteistöön asennetaan puskurivaraaja, siitä koituu lämpöhäviöitä ja niiden myötä lisää lämmityskustannuksia. Varaajahäviöitä ei oteta huomioon energiantarpeen laskuissa tämän opinnäytetyön mitoituksissa. Varaajahäviöt ovat kerrostalon mittakaavassa kuitenkin sen verran pienet, että ne eivät merkitse kokonaisuudessa juurikaan. Varaajan lämpöhäviöteho saadaan joltain osin hyötykäyttöön, koska silloin varaajan huonetilaa ei tarvitse lämmittää niin paljon.

Kuvassa 23 on esimerkki lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöstä tilavuuden suhteessa. Kohteeseen kannattaa asentaa energiatehokkaat varaajat, jolloin lämpöhäviöteho ei ole niin suurta. Jos varaajamitoituksen perusteella valitaan energiatehokas 2 m³:n kokoinen varaaja, on sen vuosittainen lämpöhäviöenergia 1,5 MWh.



KUVA 23. Lämpimän käyttöveden lämpöhäviö suhteessa varaajatilavuuteen (23, s. 21)

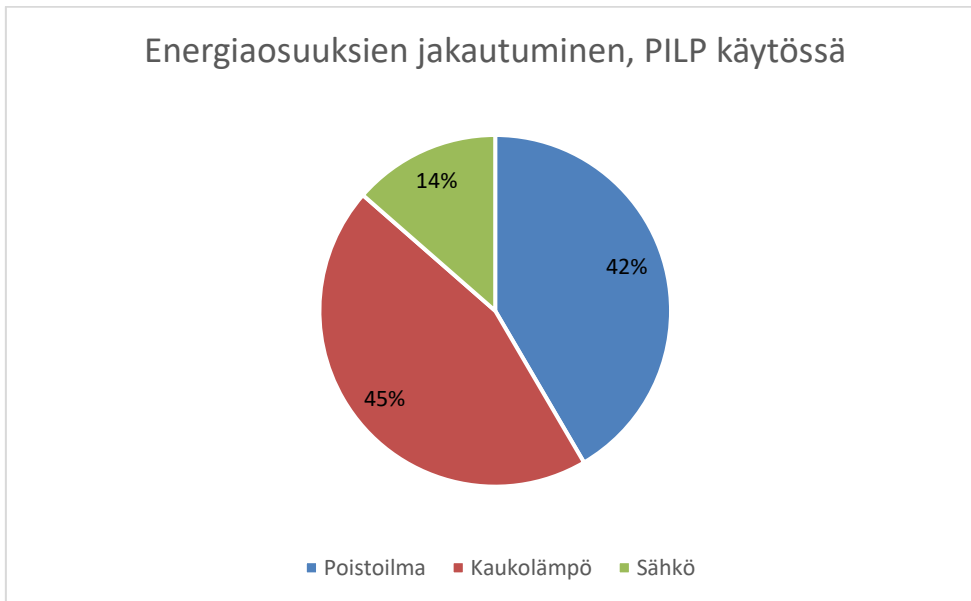
4.4 Poistoilmalämpöpumpulla saatava vuosittainen energiamäärä ja säästö

Lämpöpumpun mitoituksessa on tärkeässä osassa lämpöpumpun tuottama energia ja siitä saatava säästö. Energiantarve ja -tuotto voidaan laskea pysyvyyskäyrältä tuntisen tehon summana. Lämpöpumpun ollessa käytössä kaukolämmön energian määrä laskee, mutta sähköenergian tarve lisääntyy lämpöpumpun käyttäessä sitä. Taulukossa 6 esitetään energiamäärät, kun käytössä on Stiebel WPF40 -lämpöpumppu.

TAULUKKO 6. Energiamäärät vuosittain, kun käytössä Stiebel WPF40 -lämpöpumppu

	MWh/a
Kokonaisenergiatarve	667
Tuotettu energia lämpöpumpulla	368
KL-energia, kun LP käytössä	300
Lämpöpumpun sähkön käytön osuus	91
Keruulähteestä saatava energia	277

Lämpöpumpun tuottama energia kattaa yli puolet energiantarpeesta (kuva 24). Lämpöpumpun SPF-arvo on 4,1.



KUVA 24. Energialähteiden jakautuminen, kun poistoilmalämpöpumppu käytössä

Kun energia tuotetaan pelkästään kaukolämmöllä, voidaan lämmityskustannukset laskea Oulun Energialta saatavilla kaukolämmön hinnoilla. Kaukolämmön hinta koostuu perusmaksusta ja energiamaksusta. Perusmaksun suuruus perustuu tuntiseen maksimitehoon ja toteutuneeseen lämpötilaeroon. Tähän ei mahdollisesti ole saatavilla alennusta lämpöpumppujärjestelmän asennuksen myötä, jos kaukolämpöveden jäähtymä pienenee. Tästä syystä perusmaksun hinnanalennusta ei oteta huomioon säästölaskuissa.

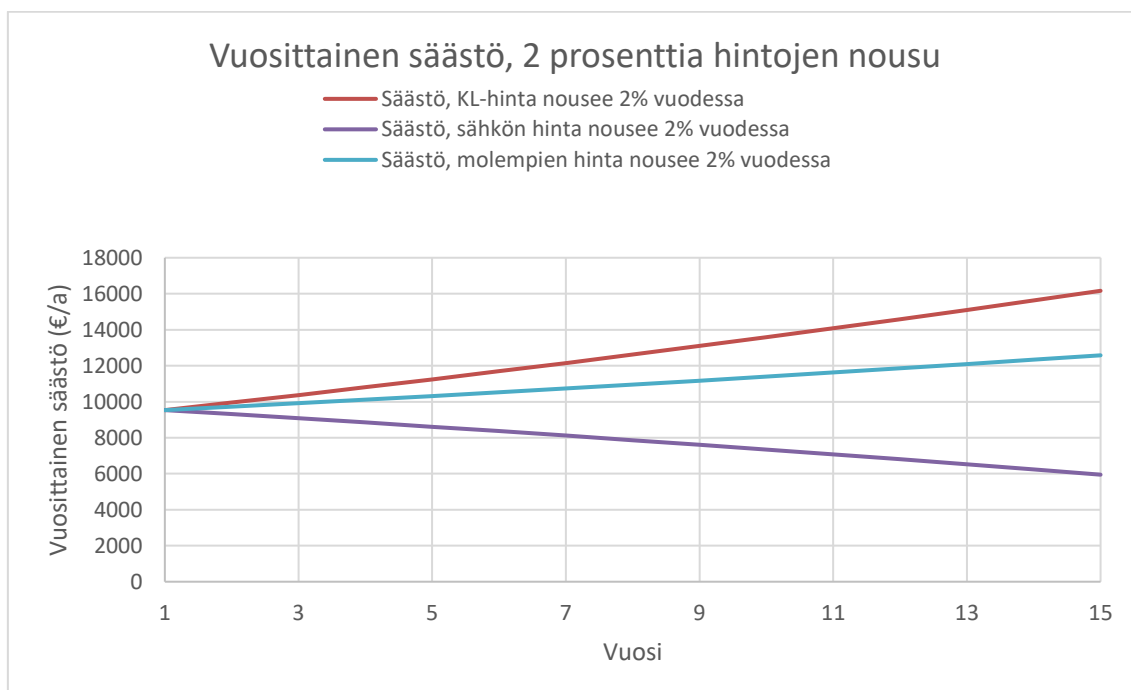
Kaukolämmön hintana käytetään Oulun energian ilmoittamaa vuoden 2021 kaukolämmön hintaa. Energiamaksun hinta ilman perusmaksua on 1.1.2021 alkaen 56,42 €/MWh (22). Laskelmissa käytetään taloyhtiön tiedoista saatua sähkön hintaa vuodelta 2019. Sähkön hinta on kyseisen vuoden keskiarvolla ollut 124 €/MWh.

Taulukossa 7 esitetään vuosittainen kaukolämmöllä tapahtuvan lämmityksen kokonaishinta ja säästö, kun käytössä on poistoilmalämpöpumppu. Laskentaa hyödynnetään myöhemmin kustannusten takaisinmaksuajan tarkastelussa.

TAULUKKO 7. Poistoilmalämpöpumpulla saatava vuosittainen säästö

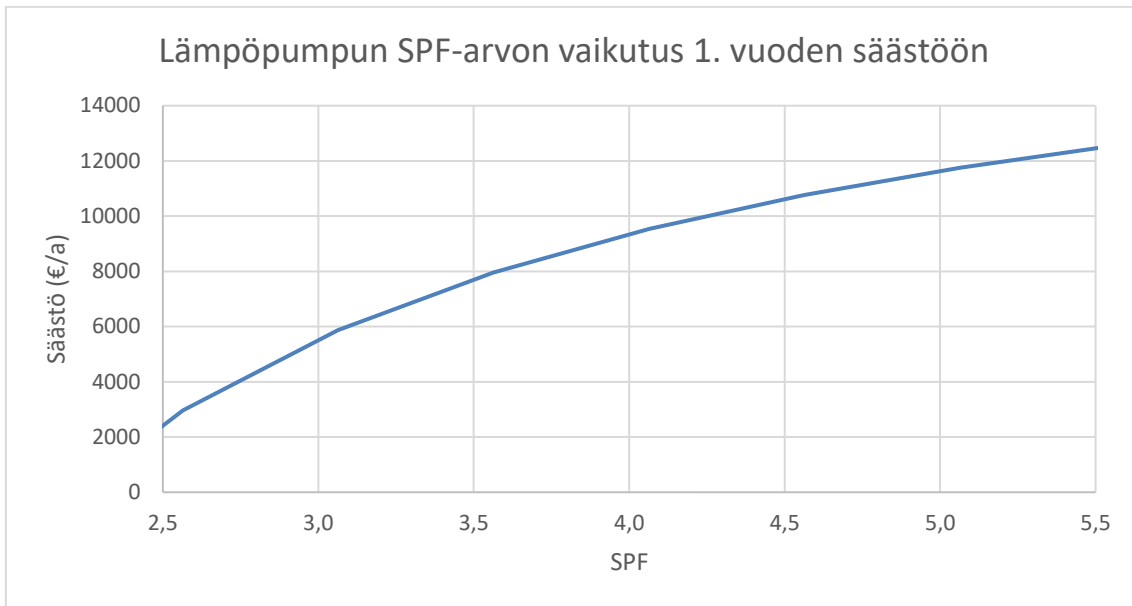
	€/v
Lämmityskustannus kaukolämmityksellä	37649
KL kustannus, kun PILP käytössä	16892
Sähkön kustannus, kun PILP käytössä	11224
Säästö	9533

Herkkyystarkastelulla (kuva 25) havainnoidaan saatava säästö investoinnista seuraavan 15 vuoden aikana, mikäli hinnannousua tapahtuu 2 % kaukolämmön ja sähkön hinnassa. Vuosittainen säästö kasvaa huomattavasti, jos kaukolämmön hinta verrattuna sähkön hintaan nousee vuosien aikana. 15 vuoden kokonaissäästöön vaikuttaa eniten kaukolämmön hinnanmuutos. Kokonaissäästö 15 vuoden aikana tasaisella säästö määrällä 9533 €/a on 143 000 €. Jos kaukolämmön ja sähkön hinta nousee 2 % vuosittain, on 15 vuoden kokonaissäästö 165 000 €.



KUVA 25. Herkkyystarkastelu vuosittaisesta säästöstä hinnannousuilla

Kuvassa 26 on lämpöpumpun SPF-arvon vaikutus vuosittaiseen säästöön. Lämpöpumpulla tuotettava energiamäärä on laskennan mukaan 368 MWh/a (taulukko 5).



KUVA 26. Herkkyystarkastelu lämpöpumpun SPF-arvon vaikutuksesta 1. vuoden rahalliseen säästöön

5 MAALÄMPÖ- JA POISTOILMALÄMPÖPUMPUN MITOITUS

Maalämpöpumppua mitoitettaessa katetaan yleensä 60–80 %:n osuus tehontarpeesta. Tällöin saadaan energiantuotosta katettua 95–99 % vuotuisesta energiamäärästä. Yleensä lisälämmönlähteenä käytetään sähkövastusta. (25, s. 2.)

Kun maalämpöä ja poistoilmaa hyödynnetään, täytyy tehdä sekä porakaivo että lämmöntalteenotto. Silloin lämpöpumpuilla voidaan kattaa suurempi osa rakennuksen energiantarpeesta verrattuna pelkkään poistoilmalämpöpumppuun, koska maalämpöpiiri voidaan mitoittaa kattamaan lämpöpumpun tarvitsema lisäenergia.

5.1 Lämpöpumpun valinta – lisälämpö kaukolämmöllä

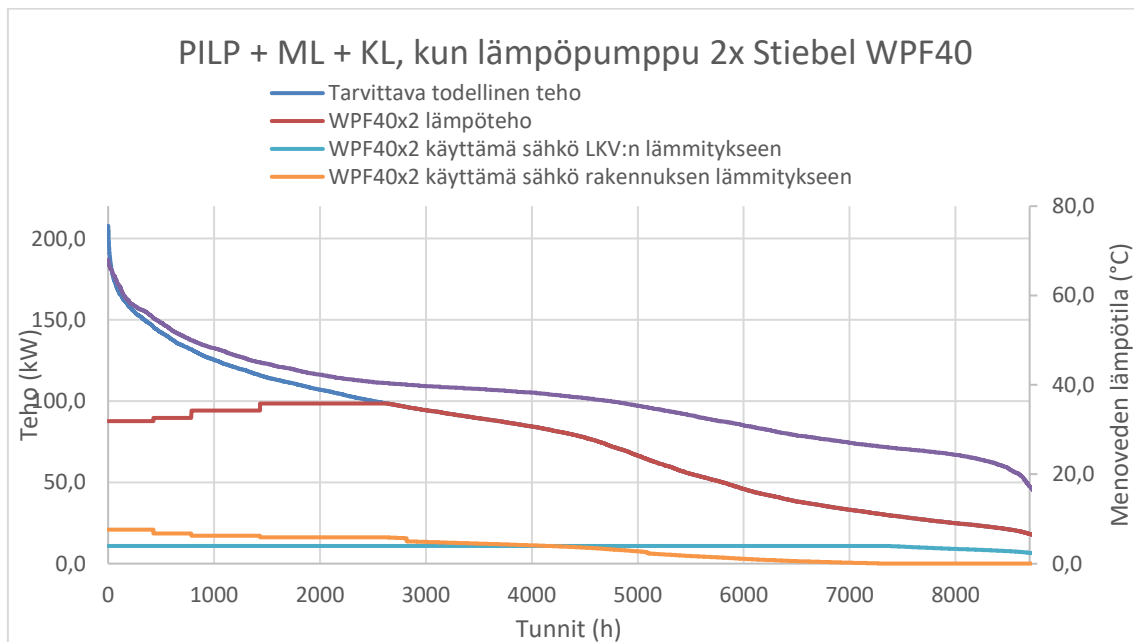
Tämän osion ensimmäisessä mitoituksessa lisälämmönlähteenä käytetään kaukolämpöä. Tällöin maltillinen lämpöpumpun osateho on järkevää. Investointikustannuksissa säästetään, kun lämpöpumpun tehon ei tarvitse olla niin suuri, eikä porakaivometrejä niin paljon. Lisäksi lämpöpumpun käyttöaste on tasaisempi. Kyseisessä kerrostalossa ja yleensä vanhoissa asunnoissa lämmityskierron menoveden lämpötila pakkasilla on sen verran korkea, että lämpöpumpulla lämmöntuoton riittävyys loppuu jo -15 °C :ssa. Sitä kylmemmillä pakkasilla menoveden täytyy olla yli 55 °C .

Lämpöpumppuvalinta osuu maltillisella osateholla kahteen Stiebel WPF40 -lämpöpumppuun. Tuntiseen maksimitehoon verrattuna teho kyseisellä lämpöpumpulla on 38 % ja optimitilanteessa lämpöpumpuilla voidaan kattaa vuosittaisesta energiantarpeesta 88 %. Lämpöpumpuista toisen teho riittää kattamaan kesällä tarvittavan pelkän käyttöveden tarpeen, mikäli varaajan koko riittää. Taulukossa 8 esitetään lämpöpumppujen mitoitusarvot.

TAULUKKO 8. Kahden Stiebel WPF40 -lämpöpumpun mitoitusarvot (21, s. 30–31)

Stiebel menovesi	Menovesi siirtimeltä	Sähköteho (P)	Lämpöteho	Höyrystimen teho	Höyr. menoveden lämpötila
°C	°C	kW	kW	kW	°C
60	55	31,9	87,7	55,8	4
55	50	28,0	89,6	61,6	5
50	45	25,3	94,1	68,8	6
45	40	23,2	98,6	75,4	7
40	35	20,8	100,6	79,8	7
35	30	19,0	102,6	83,6	7

Kuvassa 27 esitetään pysyvyyskäyrän avulla lämpöpumpun mitoitus ja sen kattavuus pysyvyyskäyrältä. Sähkön käyttö lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja rakennuksen lämmitykseen on eritelty, koska sen tarve riippuu lämpöpumpun menoveden lämpötilasta. Tässä tapauksessa lämpöpumpuilla pyritään lämmittämään käyttövesi ja sen paluukierto kokonaan. Lämpöpumpun SPF-arvo on 3,4.



KUVA 27. Kahden Stiebel WPF40 -lämpöpumpun pysyvyyskäyrä

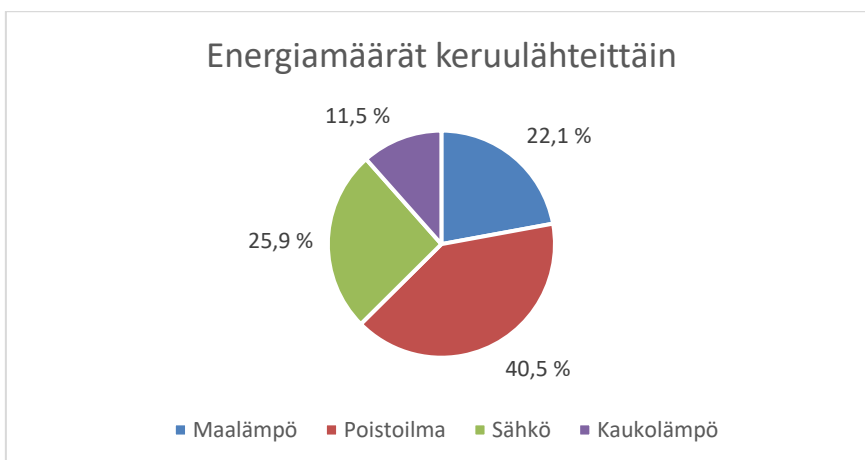
5.2 Lämpöpumpulla saatava vuosittainen energian määrä ja säästö – lisää lämpö kaukolämmöllä

Tässä osassa lämpöpumpun vuosittainen energiamäärä ja säästö tehdään luvun 4.3 periaatteella. Taulukossa 9 on tuntisen datan perusteella summattu lämpöpumpulla saatavat energiamäärät ja sen tarvitsema sähkön määrä. Lämpimän käyttöveden tuottaminen lämpöpumpulla vie enemmän sähköä kuin tilojen lämmittäminen. Toisaalta taas tuotettu energiamäärä on lämpimän käyttöveden tuottoon pienempi.

TAULUKKO 9. Vuoden energiamäärä, kun käytössä kaksi Stiebel WPF40 -lämpöpumppua

	MWh/a
Kaukolämmitysenergia	667
LP: LKV-energia	255
LP: Lämmitys energia	336
LP: Yhteensä energia	590
LP: KL-osuus	77
LP: LKV ottosähkö	93
LP: LM ottosähkö	80
LP: Yhteensä ottosähkö	173

Keruulähteistä saatavat energiat arvioidaan poistoilmamitoituksen perusteella. Poistoilmasta saatava energiamäärä on 270 MWh, joten maasta tarvitaan energiaa 155 MWh (kuva 28).



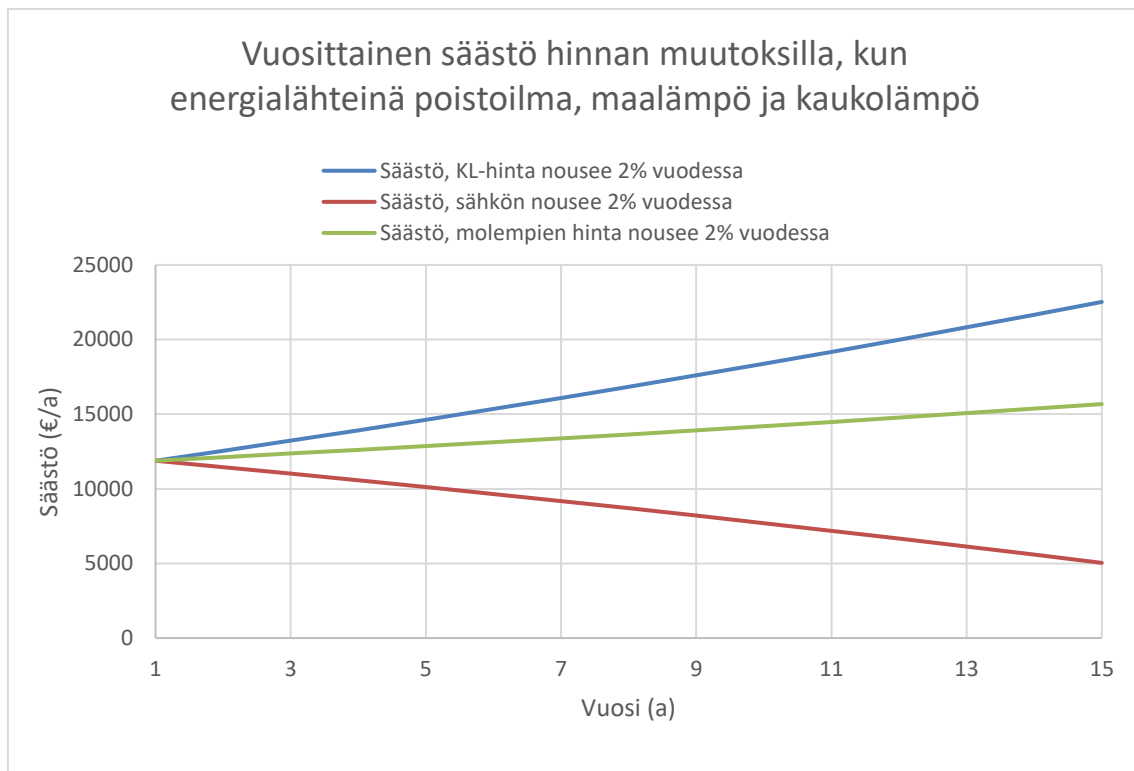
KUVA 28. Energiamäärät keruulähteittäin, kun käytössä poistoilma, maalämpö ja kaukolämpö

Taulukossa 10 esitetään vuosittainen säästö, jos käytössä on kaksi Stiebel WPF40 -lämpöpumppua. Laskentaa hyödynnetään myöhemmin investoinnin takaisinmaksuajan tarkastelussa.

TAULUKKO 10. Vuosittainen säästö, kun käytössä kaksi Stiebel WPF40 -lämpöpumppua

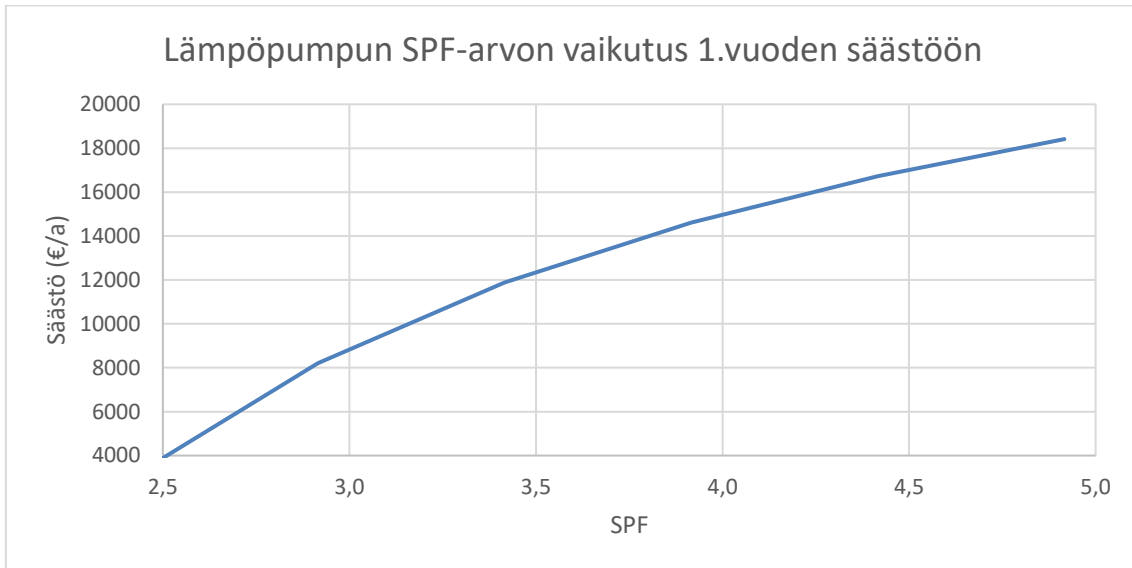
	€/a
KL kustannus, kun 100 % kaukolämmitys käytössä	37649
KL kustannus, kun lämpöpumppu käytössä	4343
Sähkön kustannus, kun lämpöpumppu käytössä	21427
Säästö	11879

Herkkyystarkastelussa arvioidaan hinnannousun vaikutuksia vuosittaiseen säästöön (kuva 29). 15 vuoden aikana ilman vuosittaisen säästö määrän muutosta on kokonaissäästö 186 000 €. Jos kaukolämmön ja sähkön hinta nousee 2 % vuosittain, on säästö 215 000 €.



KUVA 29. Herkkyystarkastelu vuosittaisesta säästöstä hinnannousuilla

Kuvassa 30 arvioidaan lämpöpumpun SPF-arvon vaikutusta ensimmäisen vuoden säästö määrään. Lämpöpumpun oletetaan tuottavan saman määrän lämpöenergiaa eli 595 MWh/a (taulukko 7).



KUVA 30. Lämpöpumpun SPF-arvon vaikutus ensimmäisen vuoden säästöön

5.3 Maalämpöporakaivojen syvyys - kaksi Stiebel WPF40 -lämpöpumppua

Oulun rakennusvalvonnan tutkimusten ja raporttien perusteella Oulussa on keskimääräinen lämpöenergian otto porakaivosta 103 kWh/m vuodessa. Kaivosta saadaan tehoa keskimäärin 11 W/m. Rakennusvalvonnalle lämmöntuottolaskelmaa tehtäessä kallioperän lämmönjohtavuudelle käytetään arvona noin 2,0–4,6 W/mK. Kuitenkin, jos mitoituksessa käytetään suurempaa arvoa kuin 2,5 W/mK, täytyy maaperälle tehdä TRT-mittaus. Keruuputkiston alimitoitus voi johtaa kallioperän jäätymiseen pitkällä aikavälillä. (9, s. 3, 9.)

Porakaivon mitoittaminen on haastavaa ilman TRT-mittausta. Högforsin käytämä porakaivon teho on tarjouksessa 25 W/m. Keskimääräinen teho vuoden tunneilla kokonaisenergiämäärästä laskettuna on 11 W/m. Jos taas laskee keskimääräisellä energiamäärällä, on saatava energia kaivosta 103 kWh/m vuodessa. Näihin tietoihin perustuen mitoitetaan kolme esimerkkisyvyyttä porakaivolle kaavoilla 13, 14 ja 15.

$$h_{porakaivo1} = \frac{\Phi_{höyrystin}}{\Phi_{porakaivoHögfors}} = \frac{\Phi_{höyrystin.kok} - \Phi_{poistoilma}}{\Phi_{porakaivoHögfors}} \quad \text{KAAVA 13}$$

$$h_{porakaivo1} = \frac{55,8 \text{ kW} - 36,5 \text{ kW}}{0,025 \text{ kW/m}} = 800 \text{ m}$$

$$h_{porakaivo2} = \frac{\Phi_{höyrystin}}{\Phi_{porakaivoKA-teho Oulu}} = \frac{\Phi_{höyrystin.kok} - \Phi_{poistoilma}}{\Phi_{porakaivoKA-teho Oulu}} \quad \text{KAAVA 14}$$

$$h_{porakaivo2} = \frac{55,8 \text{ kW} - 36,5 \text{ kW}}{0,011 \text{ kW/m}} = 1650 \text{ m}$$

$$h_{porakaivo3} = \frac{Q_{maalämpö}}{Q_{porakaivoOulu}} = \quad \text{KAAVA 15}$$

$$h_{porakaivo3} = \frac{147 \text{ 500 kWh}}{103 \text{ kWh/m}} = 1450 \text{ m}$$

5.4 Lämpöpumpun valinta – lisälämpö sähköllä

Kun lämpöpumpulla halutaan tuottaa pääosa energiasta ja lisälämmönlähteenä on sähkövastus tai -kattila, kannattaa lämpöpumpulla pyrkiä saavuttamaan optimaalinen osateho. Tässä mitoituksessa lämpöpumpulla katetaan lämmityksen tarve niin pitkään, että lämmityskierron lämpötila nousee yli 55 °C:n. Todellisen käyrän ja ulkolämpötilan perusteella tämä tapahtuu, kun ulkolämpötila on –18 °C ja tarvittava tuntinen teho on 155 kW.

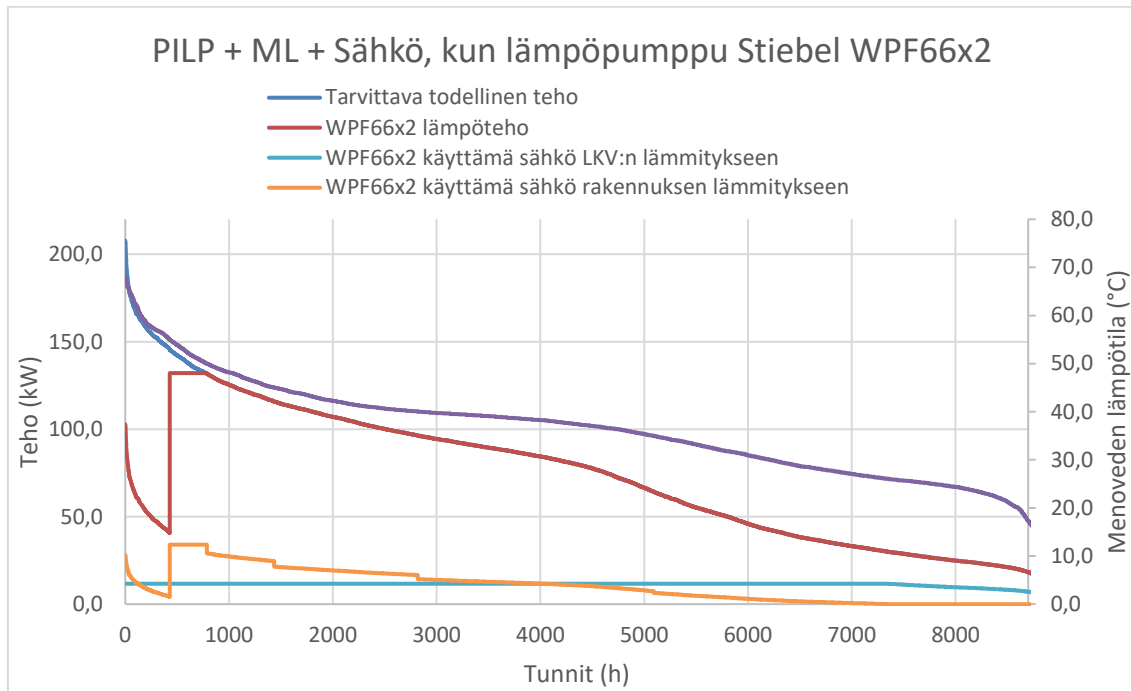
Lämpöpumpuiksi valitaan kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua. Näillä saavutetaan 56 %:n osateho tuntiseen tehon huippuun verrattuna ja optimitilanteessa vuosittaisesta energiantarpeesta voidaan kattaa 93 %. Toinen vaihtoehto on käyttää kolmea esimerkiksi Stiebel WPF 40 -lämpöpumppua. Tällöin yhden lämpöpumpun minimiteho on parempi ja kesäaikaan pienemmän tehontarpeen aikana lämpöpumpun käynti ei ole niin pätkivää. Kyseisessä tapauksessa on myös järkevää miettiä lämpöpumppua tulistinsiirtimellä. Se on pieni lämmönsiirrin, joka lämmittää lämpöpumpulta lähtevän nesteen kompressorilta tulevalla kuumakaa-sulla. Tulistinsiirtimellä olevilla lämpöpumpuilla voidaan saada lämpöpumpun menoveden lämpötilaksi jopa 70 °C. Taulukossa 11 on kahden Stiebel WPF66 -lämpöpumpun mitoitus tiedot eri menoveden lämpötiloilla. Höyrystimelle tulevan

nesteen lämpötila on alhaisempi silloin, kun maalämmöstä otetaan enemmän tehoa. Lämpöpumpun huipputeholla maalämpöpiiristä tulevan nesteen lämpötila voi olla jopa lähellä nollaa astetta.

TAULUKKO 11. Kahden Stiebel WPF66 -lämpöpumpun mitoitusarvot (21, s. 34–35)

Stiebel menovesi	Menovesi siirtimeltä	WPF66	Sähköteho (P)	Lämpöteho	Höyrystimen teho	Höyr. menoveden lämpötila
°C	°C	COP	kW	kW	kW	°C
60	55	2,58	50,2	129,5	79,3	2
55	50	3	44,0	132,0	88,0	3
50	45	3,50	39,4	138,0	98,6	4
45	40	4	36,0	144,0	108,0	5
40	35	4,65	32,7	152,0	119,3	6
35	30	5,3	30,2	160,1	129,9	7

Kuvassa 31 esitetään pysyvyyskäyrän avulla lämpöpumpun mitoitus. Sähkön käyttö käyttöveden lämmitykseen ja rakennuksen lämmitykseen on eritelty, koska sen tarve riippuu lämpöpumpun menoveden lämpötilasta. Tässä tapauksessa lämpöpumpuilla pyritään lämmittämään käyttövesi ja sen paluukierto kokonaan. Lämpöpumpun SPF-arvo on 3,25. Menoveden lämpötilan ylittäessä 55 °C täytyy sähkökattilalla tai -vastuksella lämmittää menoveden lämpötila tavoitelämpötilaan. Sähkökattilalla on tässä mitoituksessa 105 kilowatin teho. Kun sähkökattilaa käytetään, lämpöpumppu tuottaa jäljelle jäävän tehon tarpeen.



KUVA 31. Kahden Stiebel WPF66 -lämpöpumpun pysyvyyskäyrä

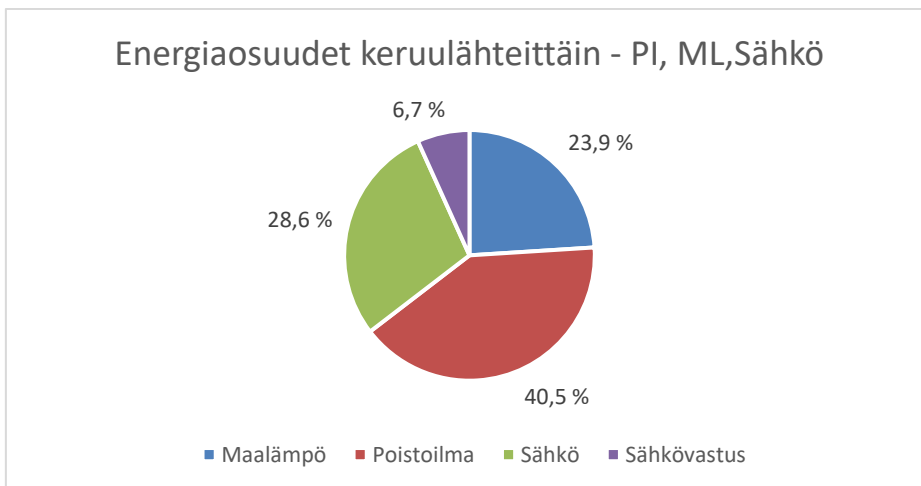
5.5 Lämpöpumpulla saatava vuosittainen energiamäärä ja säästö – lisää lämpö sähköllä

Tässä luvussa lämpöpumpun vuosittainen energiamäärä ja säästö lasketaan luvun 4.3 periaatteella. Taulukossa 12 on tuntisen datan perusteella summattu lämpöpumpulla saatavat energiamäärät ja sen tarvitsema sähkön määrä. Lämpimän käyttöveden tuottaminen lämpöpumpulla vie enemmän tehoa kuin tilojen lämmitäminen. Toisaalta taas tuotettu energiamäärä on lämpimän käyttöveden tuottoon pienempi. Keruulähteistä saatavat energiat arvioidaan poistoilmamitoituksen perusteella. Poistoilmasta saatava energiamäärä on 270 MWh, joten maasta tarvitaan energiaa 160 MWh (kuva 32).

TAULUKKO 12. Energiämäärä vuosittain, kun käytössä on kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua.

	MWh
Kaukolämmitysenergia	667
LP: LKV-energia	255
LP: Lämmitysenergia	365
LP: Yhteensä energia	620
LP: Sähkövastuksen osuus	45
LP: LKV ottosähkö	99
LP: LM ottosähkö	92
LP: Yhteensä ottosähkö	191

Poistoilmasta saatava energiämäärä on 270 MWh, joten maasta tarvitaan energiaa 160 MWh (kuva 32). Maalämmön osuus on pieni, koska porakaivon kannattaa antaa latautua energiantarpeen ollessa vähäistä.



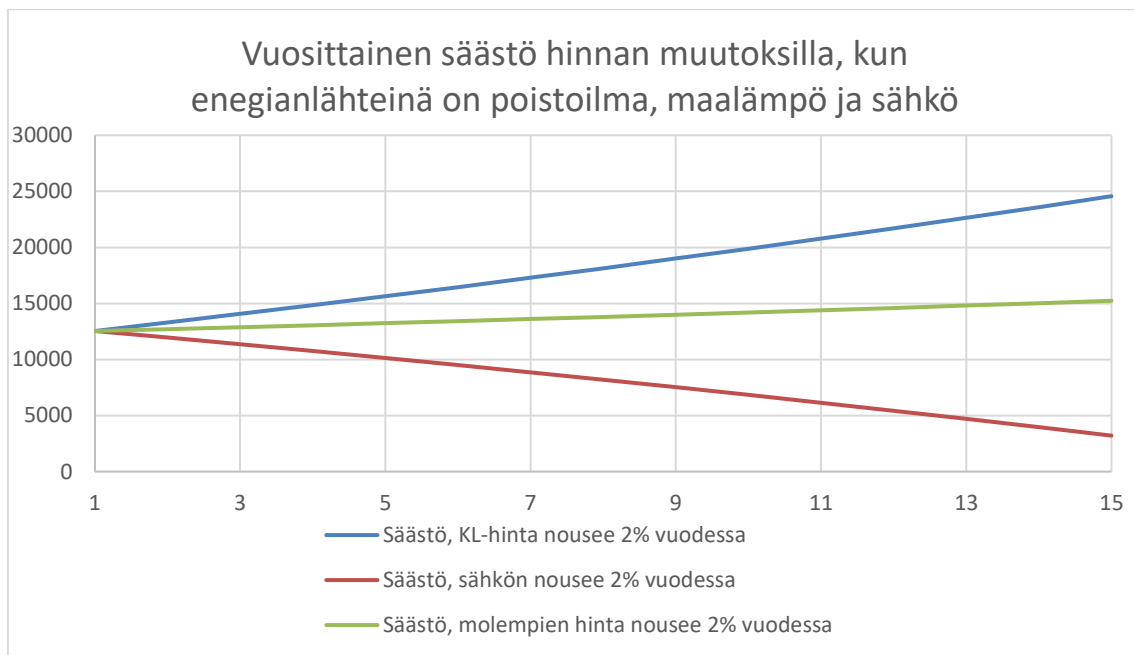
KUVA 32. Energiämäärät keruulähteittäin, kun käytössä on poistoilma, maalämpö ja sähkövastus

Taulukossa 13 esitetään vuosittainen säästö, jos käytössä on kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua. Aikaisempiin laskelmiin verrattuna säästöä tulee nyt myös kaukolämmön perusmaksusta. Laskentaa hyödynnetään myöhemmin investoinnin takaisinmaksuajan tarkastelussa.

TAULUKKO 13. Vuosittainen säästö, kun käytössä on kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua.

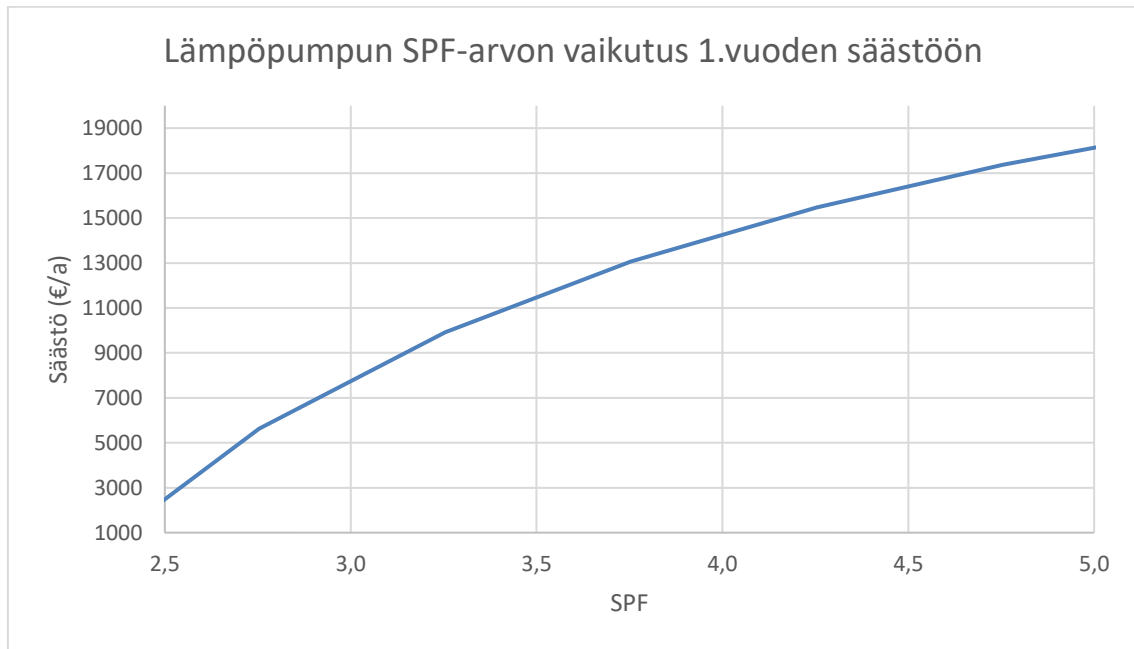
	€/a
KL kustannus, kun 100 % KL	37649
KL Perusmaksu	4100
Sähkövastuksen sähkö	5573
Sähkön kustannus, kun lämpöpumppu käytössä	23635
Säästö	12541

Herkkyystarkastelussa (kuva 33) arvioidaan hinnannousun vaikutuksia vuosittaiseen säästöön. 15 vuoden aikana ilman vuosittaisen säästö määrän muutosta on kokonaissäästö 188 000 €. Jos kaukolämmön ja sähkön hinta nousee 2 % vuosittain, on säästö 207 000 €.



KUVA 33. Herkkyystarkastelu vuosittaisesta säästöstä hinnannousuilla

Kaukolämmön vaihtamisesta sähköön lisälämmönlähteenä on myös muita vaikutuksia kustannuksien kannalta. Jos lämpöpumppujen rinnalle mitoitetaan liian pienet varaajat, lisää se huomattavasti sähkövastuksien käyttöä ja sen myötä säästö pienenee huomattavasti. Taloyhtiön sähkönkulutuksen lisääntyessä ja sähköliittymän suurentumisen myötä myös sähkön perusmaksu nousee. Lämpöpumpulla saavutettu SPF-arvo vaikuttaa myös huomattavasti järjestelmästä saatavaan energiansäästöön (kuva 33).



KUVA 33. Lämpöpumpun SPF-arvon vaikutus ensimmäisen vuoden säästöön

5.6 Maalämpöporakaivojen syvyys – kaksi Stiebel WPF66 -lämpöpumppua

Porakaivojen syvyyden arvioinnissa käytetään luvun 5.3 kaavoja 13, 14 ja 15. Porakaivojen syvyys kasvaa huomattavasti, kun niistä tarvittava teho kasvaa tehokkaampien lämpöpumppujen myötä. Myös eri laskentatavoilla saadut kaivon syvyudet poikkeavat toisistaan, joten TRT-mittauksen merkitys investoinnissa kasvaa huomattavasti.

$$h_{\text{porakaivo1}} = \frac{79 \text{ kW} - 36,5 \text{ kW}}{0,025 \text{ kW/m}} = 1700 \text{ m}$$

$$h_{\text{porakaivo2}} = \frac{79 \text{ kW} - 36,5 \text{ kW}}{0,011 \text{ kW/m}} = 3600 \text{ m}$$

$$h_{\text{porakaivo3}} = \frac{160\,000 \text{ kWh}}{103 \text{ kWh/m}} = 1600 \text{ m}$$

5.7 Aurinkosähkö

Lämpöpumppujen sähkönkäyttöön taloyhtiö voisi laittaa aurinkosähköjärjestelmän, jolla voitaisiin tuottaa osa lämpöpumppujen käyttämästä sähköstä. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus tehdään lämpöpumppujen mukaan ja siten, että sähkö tulee täysin taloyhtiön käyttöön.

Lämpöpumput käyttävät sähköä suurimmalta osin vuodesta yli 10 kW:n verran. Pysyvyyskäyrältä (kuva 22) tarkasteltuna ainoastaan noin 700 tunnin verran vuodesta käyttö on alle 10 kW. Se on pääosin kesäyöaikaa, koska silloin lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tarve on hyvin vähäistä. Silloin aurinkoenergian tuottokaan ei ole merkittävää, joten järjestelmä voidaan mitoittaa 10 kW:n tehon mukaan.

Aurinkosähkön tuotto ja tuntinen teho määritettiin siten, että perusteena oli vuoden 2016 Ouluun tullut auringon säteily määrä (26). Laskennassa käytetään Amerisolar 290W -aurinkopaneelia (27). Paneelit asennettaisiin 47 asteen kulmaan maahan nähden ja -4 asteen kulmaan auringon atsimuuttikulman suhteen etelään. Aurinkosähkön tuntinen teho lasketaan kaavalla 16 (28).

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) (1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})) \quad \text{KAAVA 16}$$

Y_{PV} = Paneelien teho [kW]

f_{PV} = PV:n laskentakerroin [%]

G_T = Auringon säteilyteho paneelin pintaan [kW/m²]

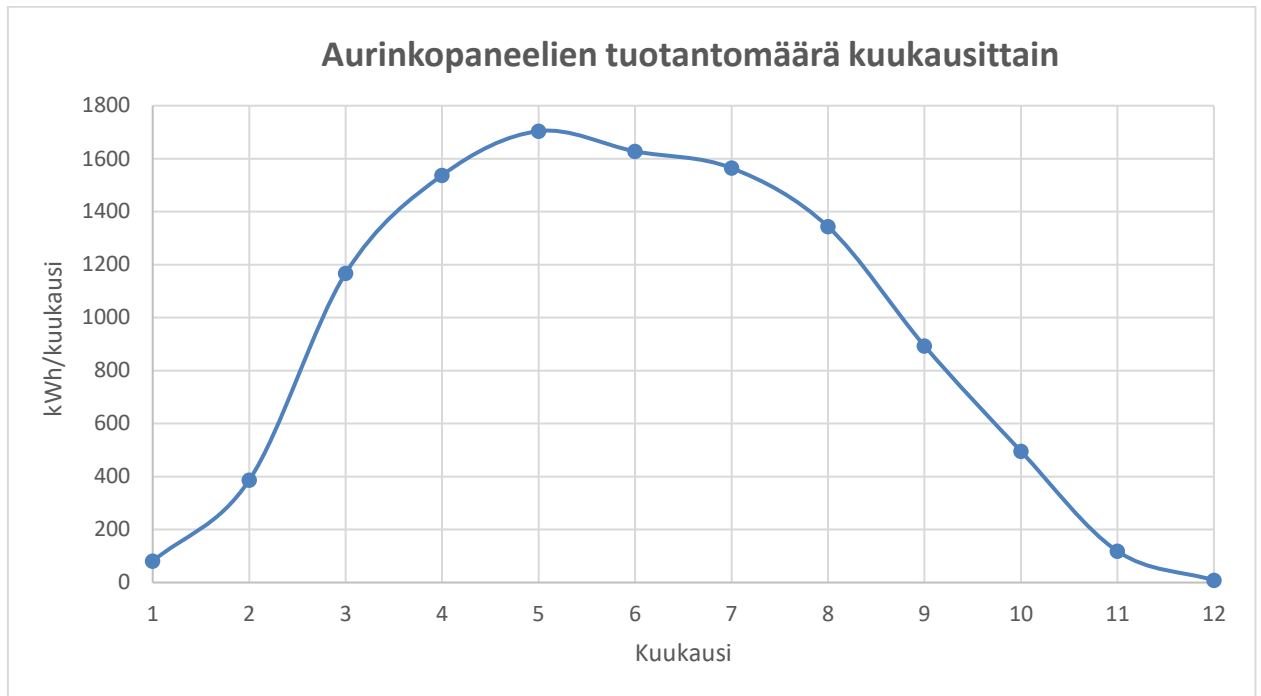
$G_{T,STC}$ = Aurinkosäteily paneelin pintaan standardiolosuhteissa [1 kW/m²]

α_p = Lämpötilakerroin [%/°C]

T_c = PV-kennon lämpötila mittaushetkellä [°C]

$T_{c,STC}$ = PV-kennon lämpötila vakio-olosuhteissa [25 °C]

Mitoituksen perusteella taloyhtiölle kannattavin ratkaisu on asentaa katolle 40 kappaletta kyseisiä aurinkopaneeleita. Aurinkopaneelien maksimiteho vuoden 2016 perusteella on 10,5 kW. Saatava energiamäärä on noin 11 MWh.



KUVA 34. Aurinkopaneelien sähköntuotantomäärä kuukausittain

5.8 Investoinnit ja takaisinmaksuajat

Lämpöpumppujen investointi on taloyhtiölle suuri. Tässä osiossa arvioidaan yksinkertaisesti toimittajalta saatujen hinta-arvioiden perusteella edellä läpikäytyjen kolmen investoinnin takaisinmaksuaikaa. Arvioinnissa ei oteta huomioon lainan korkoa, mahdollista kaukolämmön tai sähkön hinnannousua eikä laitteiston tulevia huolto- tai investointikustannuksia.

Lämpöpumppujärjestelmän investointi sisältää yleensä seuraavat asiat:

- lämpöpumput
- LTO-yksiköt (PILP)
- maalämmössä porakaivo
- sähkövastukset tai -kattila
- keruupiirien putkitus, eristäminen ja nesteet
- pumput keruupiireihin
- puskurivaraajat
- tarvittaessa uusi lämmönjakokeskus
- lisälämmönsiirtimet

- ohjausjärjestelmä
- sähköistys (ryhmäkeskus, mahdollinen syötön suurentaminen)
- asennus- ja kytkentätyöt

Jos kerrostaloon asennetaan suuritehoinen lämpöpumppu, siellä täytyy todennäköisesti suurentaa syöttökaapeli- ja sulakekokoa. Se voi lisätä kustannuksia huomattavasti. Kustannukset riippuvat työn määrästä ja siitä, kuinka kaukaa suurempi syöttökaapeli pitää tehdä kerrostaloon. Jos kaukolämpö korvataan kokonaan, voi hetkellinen sähkötehon tarve kasvaa jopa 155 kW.

Takaisinmaksuaika-arvio lasketaan jakamalla arvioitu investointi saatavalla säästöllä. Taulukossa 14 esitetään aikaisemmin esitettyjen mitoitusten takaisinmaksuajat. Pelkän poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on 16 vuotta. Näin pitkä takaisinmaksuaika on taloyhtiön kannalta riski, koska silloin on haastavaa arvioida mahdollisia tulevia huolto- ja investointikustannuksia. Maalämmön lisääminen rinnalle voi kannattaa, jos kaukolämmön hinta pysyy nykyisellä tasolla. Silloin lisähintaa tuovat porakaivo ja suurempitehoiset lämpöpumput. Nykyisellä sähkön ja kaukolämmön hinnalla kaukolämmön korvaaminen kokonaan ei ole vielä takaisinmaksuajan perusteella tarkasteltaessa järkevää. Vanhoissa kerrostaloissa menoveden lämpötila on sen verran suuri, että se lisää sähkön tarvetta lämpöpumpuilla ja sen takia sähkön kustannus on merkittävä.

TAULUKKO 14. Investointien arvioitu suuruus ja takaisinmaksuaika (16)

	Investointi (€)	Säästö (€/a)	Takaisinmaksuaika (a)
PILP	150000	9533	16
ML + PILP + KL	220000	11879	19
ML + PILP + SÄHKÖ	270000	12541	22

Huolellisesti suunniteltu energiahanke on sekä tilaajan että toimittajan etu. Toimittajalla on yleensä halu tehdä kauppaa ja myydä kannattava laitepaketti ostajalle. Tilaajalle taas kokonaisuutena toimiva järjestelmä ja järkevä investointi laskee koko investoinnin elinkaarikustannusta. Tästä syystä energian- ja tehontarpeen määrittäminen suuremmissa kohteissa on hyvin tärkeää.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli määrittää kerrostalon energiankulutus ja tehontarve sekä mitoittaa lämpöpumput eri järjestelmäkokonaisuuksilla. Lisäksi tavoitteena oli laskea taloyhtiölle eri tapauksista saatava vuosittainen säästö ja investoinnin takaisinmaksuaika.

Kerrostalon lämmitysenergian tarpeen määrittäminen osui melko lähelle todellista energian tarvetta. Ulkolämpötilan mukaan mukautuva laskutapa oli tekijän laatima, koska taloyhtiöillä ei useinkaan ole saatavilla tuntista dataa lämmitysenergian kulutuksesta. Opinnäytetyön kohteessa kuukausittaisen datan perusteella tehty tehontarpeen ja pysyvyyskäyrän määrittäminen osui hyvin lähelle todellista tilannetta. Eroa tulee ainoastaan lämpimän käyttöveden määrittämisessä, koska lattialämmityskierron takia todellinen kulutus on suurempi, eivätkä laskentakaavat ota sitä huomioon.

Lämpöpumppujen mitoituksessa haasteeksi osoittautui huomioon otettavien asioiden määrä. Vertailunäkökohtana opinnäytetyössä pystyttiin käyttämään Högforsin materiaaleja. Tekijän määrittäminen tulokset olivat lähes samat näiden materiaalien kanssa. Mitoituksessa lämmönsiirrossa lämpöpumpuilta lämmityskierto on tehtävin oletus, että niiden teho saadaan myös siirrettyä kulutuksen huippuhetkinä kiertoon. Tästä syystä varaajien ja lämmönsiirtimien oikea mitoitus on hyvin tärkeää. Oikean kokoisilla varaajilla voidaan kulutushuippujen lämmöntarve kattaa lämpöpumpuilla mahdollisimman hyvin ja lämpöpumppujen käynnistyskerrat saadaan mahdollisimman vähäisiksi, kun tehontarve on pientä. Käynnistyskertojen vähentäminen lisää pumppujen käyttöikä.

Tämän opinnäytetyön esittelemistä investoinneista taloyhtiölle kannattavin vaihtoehto nykyisillä hinnoilla on poistoilmalämpöpumppu kaukolämmön rinnalla. 16 vuoden takaisinmaksuajan arviota ei kuitenkaan voida täysin pitää luotettavana, kun huolto- ja kunnossapitokustannuksia ei oteta huomioon. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan kattaa 42 % vuosittaisesta energiantarpeesta. Lisäksi poistoilmalämpöpumpun rinnalle on helposti mahdollista lisätä maalämpöä ja kasvattaa lämpöpumppujen tehoa, jos taloyhtiö jossain vaiheessa sitä haluaa.

Jos lämpöpumppu mitoitetaan vielä suuremmaksi ja poistoilma suuremmalla tehontarpeella jäähdytetään pakkaselle, voidaan energiantarpeesta kattaa vielä suurempi osa. Näin ei kuitenkaan tehty tässä työssä, koska silloin lämmöntalteenottoa täytyisi sulattaa sähkövastuksilla. Se taas lisäisi lämpöpumpun käyttökatkoja ja sähkön kulutusta. Järjestelmän säästöt ja toiminta olisi haastavampi laskea ennakkoon, etenkin kun taustalla ei ole kokemusta ja useampia ennakkotapauksia.

LÄHTEET

1. Pylsy, Petri – Virta, Jari 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Suomen itse-
näisyyden juhlarahasto Sitra. Saatavissa: [https://www.sitra.fi/artikkelit/taloyh-
tion-energiakirja-nettiversio/](https://www.sitra.fi/artikkelit/taloyh-
tion-energiakirja-nettiversio/). Hakupäivä 13.3.2021.
2. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys.
Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/UR-
NISBN9789515885074.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/UR-
NISBN9789515885074.pdf). Hakupäivä 13.3.2021.
3. DSE Flex. Danfoss Oy. Saatavissa: [https://www.danfoss.com/fi-fi/prod-
ucts/dhs/stations-and-domestic-hot-water/substations/modular-or-site-spe-
cific-indirect-systems/dse-flex/](https://www.danfoss.com/fi-fi/prod-
ucts/dhs/stations-and-domestic-hot-water/substations/modular-or-site-spe-
cific-indirect-systems/dse-flex/). Hakupäivä 13.3.2021.
4. Voimalaitokset. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: [https://www.ouluener-
gia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset](https://www.ouluener-
gia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset). Hakupäivä
13.3.2021.
5. Lämmön alkuperä. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: [https://www.oulu-
energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/lammon-alkupera](https://www.oulu-
energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/lammon-alkupera). Haku-
päivä 13.3.2021
6. K1/2020. 2020. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet 2020. Hel-
sinki: Energiateollisuus ry, lämmönkäyttötoimikunta. Saatavissa: [https://ener-
gia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateolli-
suus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf](https://ener-
gia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateolli-
suus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf). Hakupäivä 13.3.2021.
7. Poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumppujärjestelmällä kerrostaloissa
(PILP). Kiinteistöliitto. Saatavissa: [https://www.kiinteistoliitto.fi/me-
dia/2342/pilp-ohje.pdf](https://www.kiinteistoliitto.fi/me-
dia/2342/pilp-ohje.pdf). Hakupäivä 13.3.2021.
8. Korpisalo, Kirsi. Lämmitysjärjestelmävaihtoehdot. HSY:n verkkokurssit. Saa-
tavissa: [https://koutsu.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/lammitys-
2/topic/lammitysmuodot-3/](https://koutsu.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/lammitys-
2/topic/lammitysmuodot-3/). Hakupäivä 13.3.2021.
9. Maalämpö. 2019. Oulun rakennusvalvonta. Saatavissa:
[https://www.ouka.fi/docu-
ments/486338/18471647/Maal%C3%A4mp%C3%B6+20190411.pdf/1c5f26d
8-348d-4413-a65c-409057627f85](https://www.ouka.fi/docu-
ments/486338/18471647/Maal%C3%A4mp%C3%B6+20190411.pdf/1c5f26d
8-348d-4413-a65c-409057627f85). Hakupäivä 13.3.2021.

10. Juvonen, Janne – Lapinlampi, Toivo 2013. Energiakaivo. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Hakupäivä 13.3.2021.
11. Lämpöpumpun animaatio. Ohjelmistot/Animaatiot. Dimplex. Saatavissa: <http://www.dimplex.de/fi/ladattavat/animaatiot.html>. Hakupäivä 13.3.2021.
12. Varmebaronen 9 kW sähkökattila. Annerman Oy. Saatavissa: <https://profil.fi/sahkokattilat/varmebaronen-9-kw-sahkokattila>. Hakupäivä 13.3.2021.
13. Energiatohokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Saatavissa: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehontarpeen_laskenta_20-12-2017.pdf. Hakupäivä 13.3.2021
14. 1047/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Ympäristöministeriö. Helsinki: Oikeusministeriö, Suomen säädöskokoelma. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkaistu-energiatodistusasetus-2017-ED0F67A6_AF20_4B3F_B191_7311189B65FD-133978.pdf/5616b01b-3eea-ae53-0a79-7d7c3afaa17d/Julkaistu-energiatodistusasetus-2017-ED0F67A6_AF20_4B3F_B191_7311189B65FD-133978.pdf?t=1603260131046. Hakupäivä 13.3.2021.
15. Lämmitystarveluvut. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNX_q=y%253D2019. Hakupäivä 13.3.2021.
16. HybridHEAT tarjouksen sisältö. Högfors GST. Sisäinen lähde.
17. Lämmönjakoverkon vaikutus lämpöpumppuvalintoihin. Motiva. 2020. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ja_taloyhtiaille/lampopumppujen_valinta_eri_kohteisiin/lammonjakoverkon_vaikutus_lampopumppuvalintoihin. Hakupäivä 13.3.2021
18. Reinikainen, Jarno 2015. Patteriverkoston perussäätö – menetelmät ja mahdollisuudet. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-

- ohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91070/Reinikainen_Jarno_ONT.pdf?sequence=1. Hakupäivä 13.3.2021
19. Mollier Sketcher 2.1b. Ohjelma. Saatavissa: <https://www.ivprodukt.com/software/mollier-sketcher>. Hakupäivä 13.3.2021
20. Neulalämmönsiirtimen mitoitus. Retermia Oy. Sisäinen lähde.
21. Käyttö ja asennus, Maalämpöpumppu. Käyttöohje. Stiebel Eltron. Saatavissa: https://www.stiebel-eltron.fi/content/dam/ste/cdbassets/current/bedienungs-_u_installationsanleitungen/WPF_20-66__a29bb096-f937-4b02-a831-ea7a81d00b37.pdf. Hakupäivä 13.3.2021.
22. Rantanen, Mikko 2015. Lämpöpumppujärjestelmän mitoitus ja laitevalinnat. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Insinööriyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88825/Mikko%20Rantanen%20Lampopumppulammitysjarjestelman%20mitoitus%20ja%20laitevalinnat.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 13.3.2021.
23. Lämmitysjarjestelmat ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lammitysjarjestelmat-_Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf/a2f589d0-47ac-5d04-b739-759b514e2245/Lammitysjarjestelmat-_Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf?t=1603260210304. Hakupäivä 19.3.2021.
24. Kaukolämmön energia- ja perusmaksut. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/lampo/kaukolampo/hinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut>. Hakupäivä 13.3.2021.
25. Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. 2011. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/4764/Hanki_hallitusti_maalampojarjestelma.pdf. Hakupäivä 20.3.2021.
26. Performance of grid-connected PV. European commission: Photovoltaic geographical information system. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. Hakupäivä 26.3.2021.

27. AS-6P30 PERC. 2017. Amerisolar. Saatavissa: <https://www.weamerisolar.eu/wp-content/uploads/2017/06/AS-6P30-PERC-Module-Specification.pdf>. Hakupäivä 26.3.2021.
28. How HOMER Calculates the PV Array Power Output. Homer energy. Saatavissa: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/how_homer_calculates_the_pv_array_power_output.html. Hakupäivä 26.3.2021.