

Kai Nurmesjärvi

# Maalämmön ja poistoilmalämpöpumpun kannattavuus As Oy Palorinteessä

Insinööri

Rakennustekniikka

Kevät 2018



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Nurmesjärvi Kai

**Työn nimi:** Maalämmön ja poistoilmalämpöpumpun kannattavuus As Oy Palorinteessä

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), rakennustekniikka

**Asiasanat:** maalämpö, poistoilmalämpöpumppu, takaisinmaksuaika, uusiutuva energia

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Kajaanissa sijaitsevan kerrostalon lämmitysmuodon muutoksesta koituvia kustannuksia ja investoinnin takaisinmaksuaikaa. Kerrostalon nykyinen lämmitysmuoto on kaukolämpö, joka muutetaan maalämpöön. Lisäksi koneellinen poistoilmanvaihto muutetaan poistoilmalämpöpumpulla toimivaksi, joka liitetään käyttöveden lämmitykseen. Työssä selvitettiin myös teknisen tilan ääneneristysvaatimukset maalämpöpumpun kompressoritekniikalle, investointiavustukset ja muutostöissä tarvittavat viranomaisluvut.

Kiinteistön lämmitysenergian tarve määritettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 ohjeiden mukaan. Tämän jälkeen selvitettiin poistoilmalämpöpumpulla talteen saatavan lämmitysenergian määrä. Näiden tietojen pohjalta valittiin maalämpöpumpun lauhdutustekniikka sekä voitiin määrittää tarvittava maalämpöpumpun teho ja lämmönkeruuputkiston pituus sekä lämpökaivojen syvyys. Laitteistovaatimusten mukaan lähetettiin tarjouspyyntöjä eri toimittajille, jotta saatiin tietää suuntaa antavat hankinta- ja asennuskulut. Näihin lisättiin käyttö- ja huoltokustannukset, jonka jälkeen voitiin laskea investoinnin takaisinmaksuaika ja toimenpiteiden kannattavuus.

Lämpöpumpputoiminen lämmitysjärjestelmä on kallis investointi, mutta edulliset käyttökustannukset ja muiden energianlähteiden jatkuva kallistuminen tekevät siitä kannattavan varsinkin suuriin kohteisiin. As Oy Palorinteen tapauksessa poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika olisi noin 5 vuotta ja maalämpöjärjestelmän noin 11 vuotta.

Kohteeseen on tehty syksyllä 2010 kuntoarvio, jonka tarjoamia tietoja käytettiin hyväksi työn aloitusvaiheessa. Tässä työssä ei tarkastella kiinteistön rakenteiden kuntoa eikä energiataloudellisuutta. Työssä ei myöskään käsitellä laitteistojen teknisiä ominaisuuksia eikä kiinteistössä mahdollisesti purettavien rakenteiden yksityiskohtia tai työtapoja.

## **Abstract**

**Author(s):** Nurmesjärvi Kai

**Title of the Publication:** A Change to Ground-Source Heating and Installation of an Extraction Air Heat Pump

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Construction Engineering

**Keywords:** ground-source heat, exhaust air heat pump, payback time, renewable energy

The purpose of this Bachelor's thesis was to map out the costs of changing the heating method in an apartment building which is located in Kajaani, Finland. The current heating method is district heating which will be changed to ground source heating. In addition, an exhaust air heat pump will be added to heat domestic water.

The profitability of the investment was investigated. The payback time, the energy consumption and maintenance costs of the current and new heating systems were compared. Furthermore, the purchase value and installation costs of the new equipment were taken into account. In 2010 an inspection of the current condition of the apartment building was made and some of the results of this examination are made use of in this thesis.

Ground-source heating is an expensive investment but because of the low annual operating costs the payback time is usually less than 10 years. This makes heat pumps ideal not only for new buildings but also for replacing an old heating system when the energy consumption is high. Today's climate change discussion together with the global finance crisis and constantly rising costs of energy has given boost to heat pump sales in Finland.

The results of this thesis can be useful when making decisions of the heating method change in apartment buildings. This thesis does not take energy economy or the technical condition of the structures into consideration.

## Alkusanat

Haluan kiittää Kajaanin ammattikorkeakoulun opettajia pitkäjänteisestä ja peräänantamattomasta opetustyöstä. Kiitokset erityisesti Jari Kurteliukselle, työni ohjaajalle Allan Mustoselle sekä As Oy Palorinteen yhteyshenkilölle Reijo Pitkälälle. Kiitos Erkki Hujanen ja Markku Vesterinen OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy, Kajaanin Kaupungin rakennustarkastaja Hannu Leskinen ja lupasihteeri Marjatta Soldatkin sekä Toni Määttä Suunnittelutoimisto Määttä Oy. Kiitos tuesta Anne ja Meri sekä isovanhemmat Kajaanissa ja Pyhäjärvellä.

Kajaanissa 27.3.2018

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Insinööri työ.....	2
2.1	Työn rajaus .....	2
2.2	Työn tausta .....	2
3	Kiinteistön tiedot.....	5
3.1	Rakenteet.....	6
3.1.1	Katto .....	6
3.1.2	Seinät .....	6
3.1.3	Ikkunat ja ovet.....	7
3.1.4	Perustukset.....	7
3.2	Talotekniikka .....	8
3.2.1	Lämmitysjärjestelmä .....	9
3.2.2	Ilmanvaihto .....	10
3.2.3	Tietoliikenne ja sähköjärjestelmä .....	11
3.2.4	Käyttövesi ja viemärointi .....	11
3.3	Kulutuslukemat.....	11
3.3.1	Vesi .....	11
3.3.2	Kaukolämpö.....	12
3.3.3	Sähkö .....	14
3.4	Tontin maaperä.....	15
4	Lämpöpumpputoimiset lämmitysjärjestelmät .....	17
4.1	Toimintaperiaate .....	17
4.2	Ilmalämpöpumpputyypit .....	18
4.2.1	Ilma-ilmalämpöpumppu.....	18
4.2.2	Ilma-vesilämpöpumppu.....	18
4.2.3	Poistoilmalämpöpumppu.....	19
4.3	Suorahöyrystiniämpöpumppu.....	23
4.4	Maalämpö .....	24
4.4.1	Toimintaperiaate .....	25
4.4.2	Maalämpöpumpun tehomitoitus .....	27
4.4.3	Lämpökaivo .....	27
4.4.4	Vaaka- asennus maahan .....	30
4.4.5	Vesistö.....	30
4.4.6	Luvat rakennusvalvonnalta .....	31

4.4.7	Kytkeminen olemassa olevaan lämmönjakoverkoston .....	31
4.4.8	Tekninen tila .....	34
5	Laskelmat .....	35
5.1	Lämmitystehontarve, käyttövesi .....	35
5.2	Poistoilmalämpöpumppu .....	36
5.2.1	Ilmamäärä.....	36
5.2.2	Poistoilman energiamäärä .....	37
5.2.3	Poistoilmalämpöpumpun energiapotentiaali .....	39
5.2.4	Investointikustannukset.....	40
5.2.5	Käyttö- ja huoltokustannukset .....	41
5.2.6	Takaisinmaksuaika .....	42
5.3	Lämpökaivot.....	42
5.3.1	Mitoitus .....	43
5.3.2	Investointikustannukset.....	44
5.4	Maalämpöpumppu .....	45
5.4.1	Investointikustannukset.....	46
5.4.2	Käyttö- ja huoltokustannukset .....	47
5.4.3	Takaisinmaksuaika .....	48
5.5	Lämminvesivaraajat, eristykset ja tarvikkeet.....	49
5.6	Sähkönkulutuksen lisääntyminen .....	50
6	YHTEENVETO.....	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	

## Symboliluettelo

Alijäähdytin on lämmönsiirrin, jossa otetaan nesteeksi tiivistyneestä kylmäaineesta lämpöä esimerkiksi käyttöveden esilämmittämiseen tai imuhöyryn tulistamiseen.

COP eli Coefficient of Performance, katso kohta Lämpökerroin.

Entalpia on termodynamiikassa energiaa ilmaiseva suure (merkitään H), joka tarkoittaa lämpösisältöä.

HFC ja HCFC ovat hiili-fluori-vety- yhdisteitä, joita käytetään kylmäaineena CFC:n korvaajina kylmälaitteissa ja lämpöpumpuissa.

Höyrystin on lämmönsiirrin, jossa paisuntaventtiilin jälkeen alempaan paineeseen siirtyneen kylmäaineen annetaan kiehua, jolloin se muuttuu höyryksi. Höyrystyminen vaatii lämpöenergiaa, jonka kylmäaine sitoo itseensä höyrytimen toisiopiirissä kiertävästä aineesta, yleensä jäätymättömästä liuksesta tai ilmasta. Suorahöyrystyksessä lämpöenergia siirtyy suoraan lämmönlähteestä, esimerkiksi ulkoilmasta.

ILP Ilmalämpöpumppu, tarkoittaa yleensä erityisesti ilma- ilmalämpöpumppua, kts. 4.2.1

IVLP ilma- vesilämpöpumppu, katso kohta 4.2.2

Invertteri taajuusmuunnin. Sähkölaite, jolla voidaan säätää portaattomasti esimerkiksi pumpun tai puhaltimen pyörintänopeutta prosessin tarpeiden mukaan. Taajuusmuuttaja säästää energiaa sekä laitteistoja ja vähentää sähköverkkoon aiheutuvia häiriöitä varsinkin kiihdytys- ja hidastustilanteissa.

Kilowattitunti [kWh] - kulutetun sähköenergian määrä ilmoitetaan kilowattitunteina. Kun käytetään 1000 wattia tunnin ajan, niin energiaa kuluu kilowattitunti.

Kompressori ylläpitää kylmäaineen kiertoprosessia puristamalla kaasumaisessa olo muodossa olevaa kylmäainetta eteenpäin suljetussa prosessissa. Puristuksessa kylmäaineeseen siirtyy myös kompressorin tekemän työn energia, jolloin kylmäkaasu tulistuu ja lämpenee kuumaksi.

Kylmäaine on neste ja/tai kaasu, jota kierrätetään lämpöpumpun tai kylmäkoneen suljetussa prosessissa. Kylmäaine kiehuu, ts. muuttuu höyryksi hyvin alhaisessa lämpötilassa, esimerkiksi  $-15\text{ °C}$ , ja lauhtuu ts. muuttuu takaisin nesteeksi korkeammassa paineessa, vaikka lämpötila olisi merkittävästi korkeampi, esimerkiksi  $+50\text{ °C}$ . Olomuodon muutos kaasuksi sitoo lämpöä ja muutos takaisin nesteeksi luovuttaa lämpöä. Luonnolli-

sia kylmäaineita ovat mm. ammoniakki (R717), propaani (R290) ja hiilidioksidi (R744). Esimerkkejä keinotekoisista kylmäaineista ovat kloorivapaat HFC- ja HCFC-yhdisteet, joista yleisesti lämpöpumpuissa käytettyjä olleet R404A ja R410 jäävät hiljalleen pois. R32 on tulossa R410:n tilalle varsinkin ilma-ilmalämpöpumpuissa.

Lauhdutin on lämmönsiirrin, jossa kuuma kaasu nesteytyy (lauhtuu) luovuttaen höyrystimessä sitomansa höyrystymislämmön toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä lämmitys-verkoston veteen, käyttöveteen tai ilmalämmityksen yhteydessä ilmaan. Luovutettuaan höyrystymislämmön kylmäainehöyry tiivistyy jälleen nesteeksi.

Liuospiiri on höyrystinlämmönsiirtimen toisiopiiri, jolla lämmönkeruuputkistolla esimerkiksi maasta tai lämpökaivosta saatava alhaisessa lämpötilassa, esimerkiksi  $-3\text{ °C}$ , oleva maalämpö kerätään ja siirretään höyrystimessä luovutettavaksi kylmäaineeseen, sen höyrystymislämmöksi. Liuospiirin neste on jäätymätön, yleensä teollisuusalkoholin ja veden seos, kaliumformiaattiliuos tai betaiinipohjainen seos.

LP Lämpöpumppu.

LTO Lämmöntalteenotto

LVI Lämmitys, vesi ja ilmanvaihto.

Lämpökaivo on porakaivo, josta pumpataan kallioperään varastoitunutta lämpöä kaivoon upotettavalla lämpöpumpun liuospiirillä.

Lämpökerroin ilmoittaa, paljonko lämpöpumppu antaa lämpöenergiaa kompressoriin vietyä sähköenergiaa kohti. Yleensä lämpöpumpun tuottama lämpöenergia on 2,5...3,5-kertainen sen verkosta ottamaan sähköenergiaan verrattuna. Käytännössä lämpökerroin laskee talvella lämmönlähteen hiipuessa ja kesällä vastaavasti kasvaa. Valmistajien ilmoittamat lämpökertoimet ovat yleensä vuotuisia keskiarvolämpökertoimia. Maalämpöpumpuille laaditun EU-standardin EN 255/2 mukaan lämpöpumppujen lämpökertoimet testataan eri lämpötiloilla. Testissä määritetään lämpökerroin lähteillä liuoslämpötiloilla  $+5\text{ °C}$ ,  $\pm 0\text{ °C}$  ja  $-5\text{ °C}$  ja lähteillä lauhdutuspiirin lämpötiloilla  $+35\text{ °C}$  ja  $+50\text{ °C}$ , mittaustarkkuus  $\leq 0,1\text{ °C}$ . Ilmalämpöpumpuille on omat testausstandardinsa. Katso myös kohta SPF.

MLP Maalämpöpumppu, katso kohta 5.4



Megawattitunti [MWh] Kulutettu energiamäärä, joka vastaa 1000 kilowattituntia, ks. kilowattitunti [kWh].

Paisuntaventtiili on kylmäkoneen kylmäainepiiriin sijoitettu säädettävissä oleva paineenalennusventtiili, jossa kompressoripaineen alaisen ja nestemäisessä olomuodossa olevan kylmäaineen annetaan laskea alempaan, kompressorin imupuolen paineeseen.

PILP Poistoilmalämpöpumppu, katso kohta 4.2.3

RakMk Suomen rakentamismääräyskokoelma.

SPF Seasonal Performance Factor eli kausisuorituskykykerroin huomioi lämpöpumpun käyntiajan sekä pumpun ja apulaitteiden sähkönkulutuksen lämpökerrointa määritetäessä.

SULPU Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry

Tulistuksen jäähdytin on lämmönsiirrin, jossa kompressorilta lähtevän tulistuneen kuumen kaasun annetaan luovuttaa kuumimman osan lämpöään lämpimän käyttöveden kuumentamiseen. Tulistuksen jäähdytintä nimitetään usein myös virheellisesti tulistimeksi.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Kajaanissa sijaitsevan kerrostalon lämmitysmuodon muutoksen kannattavuutta. Vuonna 1966 rakennettu kohde oli alun perin öljylämmitteinen, mutta liitettiin kaukolämpöön jo 1978. Nykyisten, vuonna 1994 asennettujen lämmönsiirtimien käyttöikä alkaa olla lopussa, joten suuri lämmitysjärjestelmän remontti on joka tapauksessa tulossa lähitulevaisuudessa. Siksi on ajankohtaista tarkastella, löytyisikö nykyiselle lämmitysmuodolle edullisempaa ja ympäristöystävällisempää korvaajaa maalämmöstä. Takaisinmaksuajan tarkastelussa otetaan huomioon lämmitystapamuutoksen investoinneille mahdollisesti myönnettävät energia- tai remonttiavustukset.

Lämmitysjärjestelmän uusimisen lisäksi tutkitaan poistoilmalämpöpumpun hyödyntämisen kannattavuutta. Kiinteistön nykyinen poistoilmapuhallin on uusittu tämän insinööriyön tekemisen aikana, joten sitä tuskin tullaan kesken käyttöään uusimaan. Tästä syystä poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton komponenttien tarkastelussa keskitytään järjestelmään, joka on yhteensopiva nykyisen poistoilmapuhaltimen kanssa. Laskelmat poistoilmalämpöpumpun säästöpotentiaalista eivät kuitenkaan ole riippuvaisia nykyisestä laitteistosta.

Työssä tarkastellaan myös lämpökaivojen mitoittamista sekä siihen liittyviä ongelmia, poraamisen kustannuksia ja kaivojen sijoittelua kiinteistön tontille ohjaavia viranomaismääräyksiä.

## 2 Insinööriytyö

### 2.1 Työn rajaus

Sudenpolku 5:een on tehty kuntoarvio vuoden 2010 loppupuolella, joten tässä työssä ei tarkastella olemassa olevien rakenteiden, vesi- ja viemärijärjestelmien eikä sähkö- ja tietoverkkojen kuntoa. Edellä mainituista esitellään perustiedot ja korjaushistoria, jotta lukija saa jonkinlaisen mielikuvan kohteesta. LVI-järjestelmiä käsitellään niiltä osin kuin uusi lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmä niihin vaikuttaa. Lämmitysmuodon muutoksessa tarvittavien toimenpidelupien tarve selvitetään sekä tarkastellaan nykyisen talotekniikan ja suunnitellun lämmitysjärjestelmän yhteensopivuutta.

Maalämpöjärjestelmien lämmönkeruupiirien eri toteutustavoista käsitellään tarkemmin vain lämpökaivoja, koska ne ainoana soveltuvat tämän kokoiseen kohteeseen. Ilmalämpöpumppujen eri variaatioita ei siis vertailla, vaan keskitytään poistoilmalämpöpumppuun ja sen kannattavuuteen kerrostalokohteessa. Lisäksi kokonaan tarkastelujen ulkopuolelle jätetään nk. absorptiolämpöpumppujärjestelmät, jotka ovat käytössä lähinnä teollisuuden prosesseissa.

Lämpökaivojen osalta maaperä- tai maastanalyysiä ei tehdä, koska lopullinen tieto maaperästä saadaan vasta porausvaiheessa. Myös lämpökaivojen lopullinen syvyys selviää vasta porausvaiheen jälkeen, joten niiden mitoituksessa tyydytään alustaviin asiantuntija-arvioihin. Näin saadaan suuntaa-antavat investointikustannukset.

Insinööriytyöstä on pyritty tekemään kompakti, mutta samalla riittävän selkeä, jolloin myös asiaan perehtymätön ymmärtää suunnitellut järjestelmät pääpiirteittäin. Tekniset termit on esitetty lyhentämättömässä muodossa ainakin ensimmäistä kertaa esiintyessään. Tämän insinööriytyön tarkoituksena on laskelmin selvittää, ovatko maalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu kannattavia investointeja As Oy Palorinteeseen.

### 2.2 Työn tausta

Suomen kerrostaloista suuri osa on rakennettu 60- ja 70-luvuilla, joten rakennuskanta on niin vanhaa, että suuret viemäri- ja vesiputkiremontit ovat ajankohtaisia. Myös moni-

en rakennusten lämmitysjärjestelmät voivat olla uusimisen tarpeessa. Näiden muutosten aikana rakenteita voi joutua purkamaan, jolloin kannattaa tehdä useampi suuri muutostyö samalla kertaa, jos mahdollista. Näin lopputuloksesta on mahdollista tehdä siistimpi, kun talotekniikan sijoittelu on vapaampaa. Yleensä myös rahaa säästyy verrattuna useina erillisinä urakoina toteutettuun projektiin. Haittapuolena on pidempi yhtäjaksoinen urakka, korkeampi kokonaishinta ja koko rakennuksen samanaikainen myllerrys, joka vaatii joustavuutta asukkailta, isännöitsijältä ja urakoitsijalta.

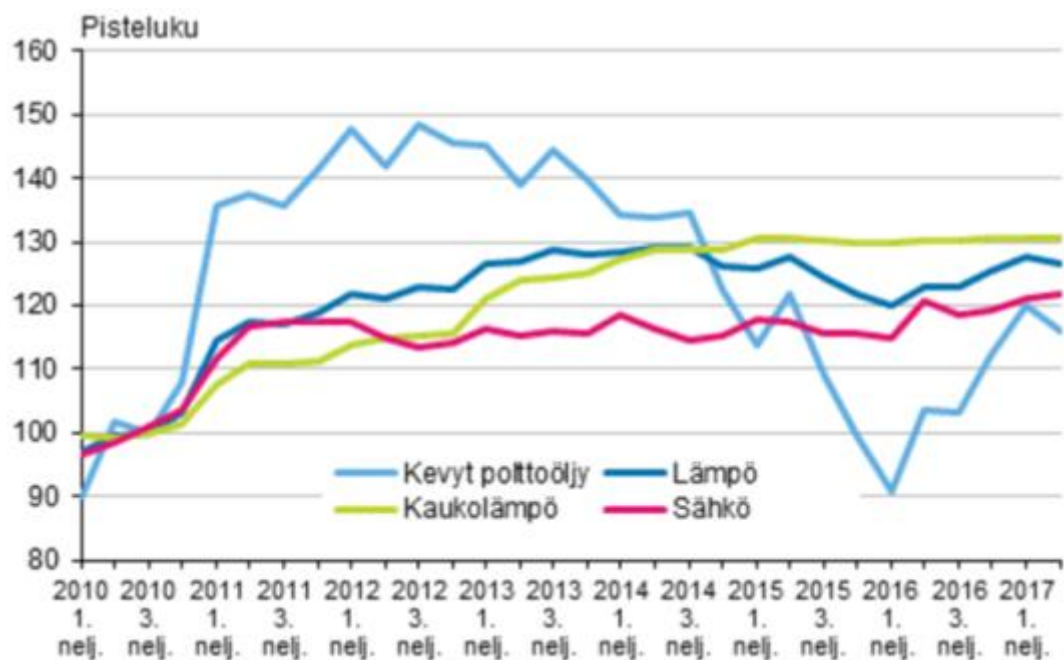
Lämmitysjärjestelmän säätämisen tai uusimisen lisäksi lämmöneristyksen parantaminen voi joissakin tilanteissa tuoda suuret säästöt. Esimerkiksi yläpohjan lisälämmöneristys ei yleensä vaadi rakenteiden purkua, jolloin kustannukset muodostuvat vain eristeen hinnasta ja työkustannuksista. Rakennuksen lämmöneristävyuden parantaminen esimerkiksi julkisivukorjauksen yhteydessä on kannattavaa, mutta kunnossa olevaa julkisivua ei kannata pelkästään energiansäästömielessä alkaa korjaamaan.

Vaikka suurin säästö saadaan aikaan säätämällä jo olemassa olevia taloteknisiä järjestelmiä, niin uusittavan lämmitysjärjestelmän tilalle kannattaa miettiä myös kokonaan uudenlaisia ratkaisuja. Maalämpöjärjestelmät ovat aiemmin olleet kilpailukykyisiä vain suurissa teollisuus- ja liikekiinteistöissä. Pumpputekniikan kehittyminen, energian hinnan kallistuminen sekä laitteistojen ja poraushintojen halpeneminen ovat tehneet siitä varteenotettavan vaihtoehdon myös asuinkiinteistöjen lämmitysjärjestelmäksi. Energiatehokkaan lämmittämisen vaikutus kansantalouteen on suuri, koska noin kolmannes primäärienergian käytöstä Suomessa kuluu rakennusten lämmittämiseen [1, s. 3].

### Energian hinnan nousu

Lämmitykseen tarvittavan energian suuri osuus, talven 2010–2011 ennätyspitkät kylmät jaksot koko Suomessa ja päästökauppa aiheuttivat kovia nousupaineita energian hintoihin. Talven 2010-2011 aikana kevyen polttoöljyn hinta nousi 35,7 %, kotitaloussähkö kallistui 14,8 % ja kaukolämpö 12,6 %. Vähiten nousua tapahtui uusiutuviissa energianlähteissä kuten puupelletissä, joka kallistui 4,1 %. Lämmöntuotannossa käytettävien fossiilisten tuontipolttoaineiden hinnat nousivat merkittävästi, esimerkkinä kivihiihi 71,8 % ja maakaasu 39,3 %. Kotimaisten polttoaineiden hintakehitys oli maltillisempaa. Jyrsinturpeen hinta kohosi muita fossiilisia polttoaineita maltillisemmat 22,7 % ja uusiutuviin energianlähteisiin luettavan metsähakkeen vain 1,1 %. [2.] Kuvassa 1 näkyy kiinteistön

ylläpidon kustannusindeksi, josta käy ilmi energian hinnan muutokset vuodesta 2010 vuoden 2017 alkupuolelle [3].



Kuva 1. Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi 2010=100, käyttöaineet: lämpö ja sähkö [3]

Kaukolämmön kuluttajahinta oli 2013 tammikuussa kallistunut 8,7 prosenttia ja lämmön-  
tuotannossa käytettävän jyrsinturpeen yli 19 % sitten 2012 tammikuun. Osa energian  
hinnan kallistumisesta selittyy kesän 2012 runsailla sateilla, jotka aiheuttivat ongelmia  
turpeen tuotannolle. Lisäksi turpeen verotus lämmöntuotannossa kiristyi 2013 alussa  
jolloin sen hinta läheni metsähakkeen hintaa. Turvetta jouduttiin korvaamaan energian-  
tuotannossa kalliimmilla polttoaineilla kuten metsähakkeella ja kivihiilellä. Metsähakkeen  
kysynnän lisääntyessä sen hinta nousi yli 5 prosenttia. Samaan aikaan kivihiilen hinta  
kuitenkin laski yli 9 prosenttia. Osin kesän 2012 sateista johtuen Pohjoismaista vesivoi-  
malla tuotettua sähköä on ollut hyvin tarjolla. Tämä on hillinnyt sähkön hinnan nousua  
lisääntyneestä kulutuksesta huolimatta. [4.]

### 3 Kiinteistön tiedot

Kiinteistö on Asunto Oy Palorinne osoitteessa Sudenpolku 5, 87300 Kajaani. Se sijaitsee Kajaanin kaupungin 5. kaupunginosassa, korttelin numero 98 tontilla nro 1. Tontin pinta-ala on 3749 m<sup>2</sup>, ja se on vuokrattu Kajaanin kaupungilta. Alun perin kiinteistö on kuulunut samaan taloyhtiöön Sudenpolku 7:n kanssa, mutta vuonna 2002 nämä on eriytetty omiksi taloyhtiöikseen.

As Oy Palorinne on rakennettu 1966, ja siinä on 4 kerrosta. Huoneistoalaa on 2080 m<sup>2</sup> ja tilavuutta 8930 m<sup>3</sup>. Asuntoja kerrostalossa on 32 kappaletta, ja asukkaiden määrä vaihtelee 49:n ja 51:n välillä. Alun perin hissittömiin rappukäytäviin on vuonna 2008 asennettu hissit. Taloyhtiössä on sauna ja kaksi pukuhuonetta. Kaapeli-tv on toteutettu Ketju 800 -järjestelmällä.

Autopaikkoja kiinteistöllä on 27 kappaletta, joista 4 sijaitsee Sudenpolku 7:n parkkipaikalla. Kiinteistössä olevat viisi autotallia omistaa taloyhtiö, ja ne on vuokrattu taloyhtiön asukkaille. Kulku autotalleille tapahtuu rakennuksen takaa (kuva 2).



Kuva 2. Sudenpolku 5, autotallit.

### 3.1 Rakenteet

Seuraavassa luvussa esitellään lyhyesti rakenteet ja hieman niiden korjaushistoriaa. Tiedot on koottu pääosin kiinteistölle tehdystä kuntoarviosta. Tietoja rakenteiden pak-suudesta, eristyksistä ja materiaaleista voidaan tarvita rakennuksen lämmitystehontarpeen laskennassa.

#### 3.1.1 Katto

Vesikattoa on korjattu ja maalattu ensimmäisen kerran vuonna 1996. Räystäskourut on uusittu 2002, ja räystäitä on saumattu heti seuraavana vuonna. Vesikatolle on tehty huoltomaalaus vuonna 2009, ja kuntoarvion mukaan läpiviennit kaipaavat seuraavaksi huoltoa. Etupihan räystäään puolella on lumieste koko matkalla. Katto on konesaumattu peltikatto, ja yläpohjan eristeenä on 200 mm levyvillaeriste.

#### 3.1.2 Seinät

Rakennuksen runko on paikalla valettu teräsbetonirunko. Ulkoseinäelementit ovat rakennuksen pitkillä sivuilla aikakaudelle tyypillisesti betoni-sandwichelementtejä. Rakennuksen päädyissä seinärakenne on 160 mm betoni, mineraalivilla 100 mm ja tiilimuuraus 130 mm. Porraskäytävien kohdalle on hissien asennuksen ja rappukäytävän laajennuksen yhteydessä tehty uusi puurunkoinen ulkoseinä, jonka ulkoverhoiluna on pelti.

Seinäelementit on maalattu ja saumattu vuonna 1990. Ulkoseinäelementit ovat pääosin hyväkuntoiset, mutta seinän eristepaksuus on mahdollisesti vain 75 mm. Pelkästään energiansäästömielessä ulkoseiniä ei yleensä kannata alkaa remontoida. Viimeistään parvekeremontin tullessa ajankohtaiseksi on kuitenkin aiheellista miettiä ulkoseinienkin tilanne uudelleen.

Perinteisen lisäeristämisen ja rappauksen rinnalle on tulossa Suomeen uudentyyppinen vaihtoehto ulkoseinien korjaukseen. Vanhan seinärakenteen päälle asennetaan puurun-koinen elementti, joka sisältää lisäeristeet ja tuloilmakanavat jokaiseen huoneistoon. Näin saneerauskohteeseen voidaan toteuttaa koneellinen ilmanvaihto ilman mittavia asumista haittaavia sisätöitä.

### 3.1.3 Ikkunat ja ovet

Ikkunat ovat Tiivi-ikkunoiden Airtech-tuloilmaventtiilillä varustettuja puu-alumiini-ikkunoita, ja ne on uusittu keväällä 2011. Ikkunoissa on sisäpuitteessa selektiivilasi ar-gon- kaasutäytteellä ja ulkopuitteessa 4 mm float-lasi. U-arvot ovat Tiivi-ikkunoiden esit-teen mukaan välillä 1,0–1,2 W/m<sup>2</sup>K.

Parvekeovet ovat Tiivin valmistamia, ja ne on uusittu yhdessä ikkunoiden vaihdon kans-sa keväällä 2011. Porrashuoneiden ovet on kunnostettu ja maalattu hissiremontin yh-teydessä vuonna 2008. Muuntamotilaan, takapihan puolella tekniseen tilaan, autotallei-hin sekä urheiluvälinevarastoon menevät ovet ovat ilmeisesti alkuperäisiä puuovia. Nä-mä ovet on uudelleenpaneloitu ja maalattu vuonna 2000.

### 3.1.4 Perustukset

Perustustapa on maanvarainen sokkeliperustus, jossa anturat ovat maanpinnan ja lat-tiapin-nan alapuolella. Alapohjarakenne on 70 mm betonilaatta, jonka alla yli 200 mm soraa ja näiden alla perusmaa. Leikkauspiirustuksissa ei ole merkintää alapohjan eris-teistä.



### 3.2 Talotekniikka

Seuraavaksi käsitellään lyhyesti kiinteistön taloteknisiä järjestelmiä ja eritellään niiden tärkeimpiä korjauksia. Tietoja talotekniikasta on saatu kuntoarviosta ja taloyhtiön yhteyshenkilöltä Reijo Pitkälältä.

Kiinteistössä on kylmiö, jonka kylmälaitteet on uusittu 2008. Kellarikerroksessa on sauna, kaksi pukuhuonetta ja kaksi vessaa. Saunaosasto on peruskorjattu vuonna 2002, ja sen kunto on pääosin hyvä. Saunan kiuas merkiltään Helo ja teholtaan 12 kW on uusittu alkuvuodesta 2012. Pyykkituvassa on pesukone, kuivausrumpu ja mankeli, joka on uusittu 2009. Kuivaushuoneessa oleva kuivauskone on uusittu 2009. Kuivaushuoneen lattia on maalattu 2009 ja muut rakenteet on korjattu saunaosaston korjauksen yhteydessä 2002.

Kiinteistön porraskäytäviin on vuonna 2008 asennettu Koneen hissit. Kuvassa 3 näkyy, kuinka hissi on sovitettu portaikon keskelle kaventamalla porrasmousuja. Myös porraskäytävän ulkoseinää on siirretty ulommas. Hissiin voidaan kulkea suoraan ulko-ovelta tultaessa ja kerroksissa päästään ulos korin vastakkaiselta puolelta (kuva 4). Tämä helpottaa varsinkin vanhusten ja liikuntarajoitteisten elämää.



Kuva 3. Kavennettu portaikko.



Kuva 4. Hissikori.

### 3.2.1 Lämmitysjärjestelmä

Alkuperäinen lämmitysjärjestelmä on aikakaudelle tyypillisesti öljylämmitys. Kaukolämpöön liittyminen lämmönsiirtimeen välityksellä tapahtui vuonna 1978. Linjasäätöventtiilit on uusittu 1988 ja nykyiset lämmönsiirtimet on asennettu 1994. Lämmönsiirtimeen automatiikan tarkistuksen ja korjauksen yhteydessä vuonna 2001 osa lämmönvaihdinhuoneesta on muutettu yhteisiksi varastotiloiksi. Patteritermostaatit on uusittu vuonna 2010. Patterit ovat pääosin alkuperäisiä. Lämmitysjärjestelmä on käyttökänsä puolesta lähitulevaisuudessa perusparannuksen tarpeessa. Alkuperäinen vuonna 1994 asennettu lämmityksen kiertovesipumppu onkin särkynyt loppuvuodesta 2010, ja se on korvattu käytetyllä varapumpulla. Kuvassa 5 on lämmönjakohuone ja nykyinen lämmitysjärjestelmä. Lämmönjakohuoneen takanurkassa on lattiassa avoin putkikanaali, joka täytyy tukkia tai eristää. Tarkemmat tekniset tiedot lämmitysjärjestelmästä löytyvät tämän työn liitteestä 1.



Kuva 5. Lämmönjakohuone.

Lämmönjakohuoneessa on kevyt väliseinä, joka rajoittuu ulkoiluvälinevarastoon. Seinää siirtämällä saadaan tarvittaessa lisätilaa maalämpöjärjestelmälle, jolloin uuden ja vanhan lämmitysjärjestelmän käyttö rinnakkain on ainakin teoriassa mahdollista. Näin katkokset lämmityksessä sekä lämpimän veden jakelussa saataisiin mahdollisimman lyhyiksi. Nykyisen väliseinäratkaisun paloturvallisuus saattaa olla riittämätön, jolloin tämä

asia olisi mahdollista korjata samalla. Kuvassa 6 on lämmönjakuhuoneen ja varaston erottava väliseinä.



Kuva 6. Lämmönjakuhuoneen ja varaston erottava seinä.

Seinän ja katon rajassa on noin 10 cm rako, jonka kautta äänet kulkeutuvat lämmönjakuhuoneesta varastotilaan. Seinän nykyinen rakenne ei täytä kompressoritekniikkaa käyttävän maalämpöpumpun asettamia vaatimuksia teknisen tilan ääneneristävyydelle.

### 3.2.2 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihtokanavat on nuohottu viimeksi vuonna 2010, jolloin myös uusittiin poistoilmapuhallin, jota säädetään taajuusmuuttajalla. Korvausilma tuodaan asuntoihin ikkunanpuitteissa olevien venttiilien kautta. Korvausilma esilämpenee ikkunoiden välissä kulkiessaan ennen huonetilaan tuloa, jolloin vedontunne vähenee. Näin asukkaille ei tule kiusausta tukkia tuloilmaventtiileitä, jolloin ilmanvaihto pysyy paremmin tasapainossa ja asumismukavuus säilyy. Tekniset tiedot poistoilmapuhaltimesta ovat liitteessä 2.

Ilmamäärät poistoilmakanavista on mitannut uuden huippuimurin asennuksen yhteydessä LVI-Suunnittelutoimisto Kaiplan KY. Kanavista saatavissa ilmamäärissä näyttäisi olevan enimmäkseen melko pieniä eroja B- ja C-rappujen välillä. Talon A-rapun puoleisen

päädyn mittaustulokset ovat selvästi heikompia, mutta syitä ei lähdetä tässä työssä analysimaan.

### 3.2.3 Tietoliikenne ja sähköjärjestelmä

Liittyminen kaapeli-TV:hen tapahtui vuonna 1993, vahvistimen uusiminen tehtiin 1999 ja vuonna 2006 on suoritettu antenniverkon kunnostus. Kiinteistön sähköjärjestelmät on uusittu 2013. Kiinteistön pääsulakkeiden koko on 3 x 80 A.

### 3.2.4 Käyttövesi ja viemärointi

Kiinteistöön on tehty käyttövesi- ja viemäriputkisaneeraus vuonna 2013. Samalla kylpyhuoneet on remontoitu täysin. Uudet käyttövesiputket ja sähköjohdot nousevat yhteisessä koteloinnissa porrashuoneen seinää pitkin. Pohjaviemäri on kunnostettu sukutustekniikalla.

## 3.3 Kulutuslukemat

Kohteesta on käytettävissä veden, kaukolämmön ja sähkön kulutustiedot vuosilta 2012–2016. Vuoden 2013 sähkön-, veden- ja kaukolämmön kulutuslukemat poikkeavat normaalista linjasaneerauksen takia, joten niitä ei käytetä. Kaukolämmönkulutuksen normerauksen laskelmat ovat työn liitteessä 3.

### 3.3.1 Vesi

Taulukossa 1 on kiinteistön vedenkulutustiedot vuosilta 2012–2016. Vesimaksun hinta muodostuu käyttömaksusta ja perusmaksusta. Käyttömaksu sisältää sekä käyttövesi-että jätevesimaksun, ja se määritetään toimitetun veden määrän mukaan. Vuosittain maksettava perusmaksu muodostuu käyttöveden ja jäteveden perusmaksusta kiinteistötyypin ja kerrostaloissa myös kerrosalan mukaan. Veden ajantasaiset hintatiedot, mak-

sujen määrätymisperusteet sekä laskentakaavat ovat saatavilla Kajaanin Vesi Oy:n internet-sivuilta. As Oy Palorinteen vuosien 2012-2016 vedenkulutuslukemat on saatu taloyhtiön yhteyshenkilöltä Reijo Pitkälältä.

Vuosi	2012	<b>2013</b>	2014	2015	2016
Vesi l/as/vrk	131	<b>110</b>	117	123	107,5

Taulukko 1. Veden kulutus 2012-2016

As Oy Palorinteen keskimääräinen vedenkulutus 2660 m<sup>3</sup> vuodessa on tyypillinen tämänikäiselle rakennukselle, jossa ei vielä ole huoneistokohtaisia vesimittareita. Käyttövesi- ja viemäriremontin jälkeen kulutus laskee yleisesti noin sataan litraan asukasta kohti vuorokaudessa. As Oy Palorinteen tapauksessa yhteenlaskettu kokonaiskulutus olisi tuolloin noin 1860 m<sup>3</sup> vuodessa. Tällöin veden lämmittämiseen käytettävän lämpöenergian tarve pienenee, mikä vähentää siten myös kaukolämmön kulutusta. Kiinteistön vedenkulutustietoja tarvitaan siten lämmitysenergiankulutuksen normeerausessa. Vuoden 2013 kulutuslukemat voivat olla vääristyneet samana vuonna tehdyn linjasaneerauksen takia, joten niitä ei huomioida tässä insinööriyössä.

### 3.3.2 Kaukolämpö

Kaukolämmön hinta muodostuu perusmaksusta ja energiamaksusta sekä arvonlisäverosta. Perusmaksun hinta määräytyy tilaustehon (huipputehon tarve) mukaan, joka As Oy Palorinteessä on 188 kW. Energiamaksu määräytyy käytettyjen megawattituntien mukaan. Kaukolämmön hinnasto on saatavilla Loiste Lämpö Oy:n internet-sivuilta osoitteesta <https://www.loiste.fi/kaukolampo/loiste-lampo/kaukolampohinnastot>.

Taulukossa 2 näkyvät, vuosien 2012–2016 kaukolämmön kulutuslukemat on saatu Sunden-polku 5:n Kaukolämmön käyttöraportista vuodelta 2016. Raportin on tehnyt Loiste Lämpö Oy ja tätä lopputyötä varten sen on luovuttanut isännöitsijä Markku Vesterinen OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy:stä. Taulukossa näkyy myös normitetut kulutuslukemat.

Tilausteho- ja vesivirta: 188 kW, vesivirrasta m<sup>3</sup>/h ei tietoja

Perusmaksu : 21,66 €/MWh eli 7183,80 € vuodessa

Energiamaksu : 61,46 €/MWh eli 20380,23 € vuodessa

Yhteensä : 83,12 €/MWh eli 27564,03 €

Maksut sisältävät arvonlisäveron 24 %

Vuosi	LÄMPÖENERGI- AN -KULUTUS MWh /vuosi	LÄMMITYSTAR- VELUKU k.o. VUOTENA (°Cd)	NORMEE- RATTU KULUTUS MWh/vuosi	NORMITETTU KULUTUS kWh/Rm <sup>3</sup> /Vuosi
2016	331,6	4784	369,6	37,1
2015	313,7	4327	379,8	35,1
2014	340,2	4766	380,2	38,1
<b>2013</b>	<b>366,4</b>	<b>4730</b>	<b>413,2</b>	<b>41</b>
2012	411,1	5411	411,7	46

Taulukko 2. Kaukolämmön kulutus 2012-2016

Taulukosta 2 näemme, että virallinen lämmitystarveluku vuonna 2016 on ollut 4784. Normaali vuoden lämmitystarveluku (1981...2010) on Kajaanissa 5304. Normeerauksella poistetaan sään vaikutus energiankulutukseen, jolloin kaavan 1 avulla voidaan verrata rakennuksen energiankulutusta eri aikoina. Näin voidaan arvioida korjaus- ja säätötoimenpiteiden vaikutusta. Linjasaneeraus vuonna 2013 on vääristänyt kulutustietoja, joten sen vuoden lukemia ei käytetä.

Normeerauksella voidaan vertailla myös samalla paikkakunnalla olevien rakennusten energiankulutusta toisiinsa käyttämällä paikkakuntakohtaisia korjauskertoimia. Jos rakennuksien energiankulutustietoja halutaan verrata koko Suomen rakennuskantaan, niin normitus tehdään Jyväskylään riippumatta siitä, millä paikkakunnalla tarkasteltava rakennus on. [5.] Normeerus suoritettiin ohjekortin LVI 10-10464 mukaan. Selvyiden vuoksi otsikoiden ja kaavojen numeroinnissa noudatetaan ohjekortin vastaavia. Normituksen laskelmat ovat liitteessä 3.

### 1.1 Energiankulutuksen vertaaminen eri ajanjaksoina (peruskaava)

Vertailtaessa saman rakennuksen energiankulutusta eri aikoina käytetään kaavaa 1

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (1)$$

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus

$Q_{toteutunut}$  = rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia =  $Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi}$

$Q_{kok}$  = rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä

$Q_{lämmin\ käyttövesi}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus

$S_{N\ vpkunta}$  = normaalivuoden tai – kuukauden (1971 ... 2000) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$  = kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

### 3.3.3 Sähkö

Sähkön kulutus vuosina 2012–2016 näkyy taulukossa 3. Sähkönkulutustiedot on saatu taloyhtiön yhteyshenkilöltä Reijo Pitkälältä.

	2012	<b>2013</b>	2014	2015	2016
Sähkö kWh/r-m <sup>3</sup>	4,9	<b>6,8</b>	5,9	5,5	5,7

Taulukko 3. Sähkön kulutus 2012-2016

Kiinteistösähköä on kulunut keskimäärin 49 MWh vuodessa. Se on keskimääräistä enemmän tämän ikäiseen rakennuskantaan verrattuna. Sähköjärjestelmät on uusittu vuonna 2013 ja remontista johtuen sähkönkulutus on ollut 6,8 kWh/m<sup>3</sup>, joka on normaalia huomattavasti enemmän. Vuoden 2013 kulutustietoa ei oteta huomioon.

### 3.4 Tontin maaperä

Kajaanin Palokangas-kaupunginosa on kallioista ja kuivaa kangasmaastoa. Maalämpökeruuputkien asennus pintamaahan on poissuljettu vaihtoehto. Putkien vaaka-asennus näin suuressa kohteessa ei muutenkaan ole käytännöllinen suuren tilantarpeen takia. Putket voidaan kuitenkin asentaa poraamalla kallioon 200–300 metriä syviä reikiä joko suoraan tai hieman viistosti. Rikkonaisessa kalliomaaperässä on kuitenkin maalämpökaivon vaurioitumisen vaara sortuman takia. Vaarana on myös maaperän liikkeiden aiheuttama lämmönkeruuputken taittuminen ja tästä johtuva nestekierron heikkeneminen. Lämpökaivon porauksessa kannattaa noudattaa Poratek ry:n normilämpökaivon vaatimuksia.

Kiinteistön tontin takapiha rajoittuu puistoalueeseen, joka on käytännössä metsää (liite 6). Porauskalusto pääsee ajamaan talon taakse, koska piha on osittain asfaltoitu. Kajaanin kaupungin rakennusvalvonnalta saadun As Oy Palorinteen rasitekartan mukaan takapihalla ei ole vesi-, viemäri- tai kaukolämpöjohtoja. Mahdollisten maanalaisten rakenteiden tai luolien sijainti lämpökaivojen vaikutuspiirissä täytyy vielä kuitenkin tarkemmin selvittää alan ammattilaisen toimesta.

Tontin takaosa ei ole tasainen, vaan piha kohoaa rakennuksen a-rapun päätyyn kuljettaessa (kuva 7). Kuvassa 8 näkyy metsän puolella, asfaltin reunasta mitattuna noin 5 metrin jälkeen oleva jyrkkä rinne, joka viettää talosta pois päin. Tämä täytyy ottaa huomioon, kun suunnitellaan porauskaluston kulkua tontilla. Taloyhtiön yhteyshenkilön Reijo Pitkälän mukaan tontin raja kulkee rinteessä eikä kauempana metsässä, kuten asema-kaavapiirroksessa on merkitty.





Kuva 7. Takapiha



Kuva 8. Takapihan jyrkkä rinne

Kuva 8 on lainattu As Oy Palorinteeseen (Sudenpolku 5) tehdystä kuntoarviosta, jonka tekijät ovat ryhmä Kajaanin ammattikorkeakoulun TRI9K-luokkalaisia.

## 4 Lämpöpumpputoimiset lämmitysjärjestelmät

Seuraavassa esitellään lämpöpumpun toimintaperiaate, eri lämpöpumpputyypit ja eri läm-mönkeruutavat.

### 4.1 Toimintaperiaate

Kaikilla lämpöpumpputoimisilla lämmitysjärjestelmillä on sama toimintaperiaate. Lämpöpumpun höyrystimessä lämmönkeruupiiristä saatu lämpö nostaa nestemäisen kylmäai-  
neen lämpötilan noin nollaan celsiusasteeseen. Lämpötilan muutos höyrystää kylmäai-  
neen, ja siihen sitoutuu lämpöenergiaa. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin,  
joka puristaa sen pienempään tilaan, jolloin kylmäainehöyryn paine ja lämpötila nouse-  
vat. Korkeapaineisen kylmäainehöyryn lämpötila on noin 100 °C, kun se johdetaan  
lauhduttimeen jäähtymään. Kylmäainehöyry luovuttaa lämpöenergiansa lauhduttimen  
kautta esimerkiksi lämpimän käyttöveden varaajaan, lämmitysverkoston veteen tai huo-  
neilmaan, riippuen lämpöpumpun tyypistä ja liittämistavasta. Jäähtyessään kylmäaine  
muuttuu takaisin nestemäiseksi ja se kulkee paineenalennusventtiilin kautta takaisin  
höyrystimeen, jolloin kierto alkaa alusta. Jäähtyneen kylmäaineen lämpötila voi tuolloin  
olla jopa -10 °C. [6.]

Nykyisin lämpöpumpuissa ja kylmälaitteissa käytetään fluorihilivetyjä eli HFC-yhdisteitä.  
HFC- yhdisteet ovat myrkyttömiä, palamattomia ja biologisesti hajoavia. Ne eivät aiheuta  
otsonikatoa, mutta ovat kasvihuonekaasuja jos niitä pääsee ilmakehään. [6.]

Lämpöpumpuilla voidaan kerätä lämmitysenergiaa maasta, vedestä tai suoraan ilmasta.  
Valinta näiden lämmitysjärjestelmien välillä voi tapahtua niin käytettävissä olevan raha-  
määrän, tarvittavan lämmitystehontarpeen, mahdollisen olemassa olevan lämmitysjär-  
jestelmän kuin kiinteistön sijainninkin mukaan.

Lämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta noin 2/3 on ilmasta, vedestä tai maasta  
peräisin olevaa uusiutuvaa energiaa ja 1/3 on tuotettu sähköllä. Tämä tarkoittaa, että 1  
kWh sähkönmäärällä saadaan 3 kWh lämpöenergiaa. [7.] [10.] Edellä mainittua sähkön  
ja lämpöenergian suhdelukua ilmaistaan lämpöpumpuissa kirjainlyhenteellä COP (Coef-  
ficient Of Performance).

## 4.2 Ilmalämpöpumpputyypit

Ilmalämpöpumput voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden liitännätavan mukaan. Seuraavaksi esitellään lyhyesti eri ilmalämpöpumpputyypit sekä niiden hyvät ja huonot puolet.

### 4.2.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Puhuttaessa ilmalämpöpumpusta tarkoitetaan yleensä juuri ilma-ilmalämpöpumppua. Se on lämpöpumppu, joka ottaa lämpöenergiaa ulkoilmasta ja puhaltaa sen huoneilmaan. Ilma-ilmalämpöpumpun höyrystin sijaitsee ulkoyksikössä ja pienikokoinen lauhdutin on sisäyksikössä. Sisäyksikössä oleva suodatin puhdistaa kierrätettävää huoneilmaa. Ilmalämpöpumpun asennus käyttökuntoon tapahtuu yleensä yhden työpäivän aikana. [6.]

Ilmalämpöpumppu on investointihinnaltaan edullisin lämpöpumppu, joka voidaan asentaa minkä tahansa lämmitysjärjestelmän lisälämmönlähteeksi. Tämä lämpöpumppu soveltuu parhaiten omakotitaloon, jossa on suora sähkölämmitys. Silloin se pienentää lämmityskustannuksia 40 % vuositasolla. [6.]

Tätä lämpöpumppua voidaan käyttää myös kiinteistön jäähdyttämiseen. ILP ei ole riippuvainen kiinteistön varsinaisesta lämmitysjärjestelmästä, vaan se toimii lisälämmönlähteenä. Väärin käytettynä ilmalämpöpumpulla on mahdollista jäähdyttää samaan aikaan, kun lämmitysjärjestelmä lämmittää. [6.]

Ilmalämpöpumpun lämmitysteho laskee nopeasti ulkolämpötilan laskiessa, joten kiinteistön varsinaisen lämmitysjärjestelmän täytyy olla täystehomitoitettu. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin vaihtelee välillä 1,5–2,8 riippuen ulkolämpötilasta. [6.]

### 4.2.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpussa lämpöenergia otetaan ulkoilmasta ja siirretään esimerkiksi lämminvesivaraajaan ja/tai keskuslämmityksen vesikiertoon. Lämpöpumpun höyrystin

sijaitsee ulkoyksikössä ja lauhdutin lämmönsiirtimiseen sisäyksikössä. Ilma-vesilämpöpumppu ei aiheuta häiritseviä puhallinääniä sisätiloihin. [6.]

Ilma-vesilämpöpumppu on kalliimpi investointi kuin ilma-ilmalämpöpumppu, mutta sen hyötysuhde on suurempi ja liitännämahdollisuudet monipuolisemmat. Kiinteistössä olisi hyvä olla keskuslämmitys tai hybridivaraaja, johon ilma-vesilämpöpumppu liitetään, muuten asennusvaiheessa myös putkitustöitä on enemmän. [6.]

Ilma-vesilämpöpumppu hoitaa käyttöveden lämmityksen sekä talon lämmitystarpeen aina -15...-20 °C:n ulkolämpötilaan asti. Lämmitysteho laskee kuitenkin nopeasti ulkolämpötilan laskiessa, jolloin kylmemmässä tarvitaan täystehomitoitettu lisälämmönlähde. Lisälämpö voidaan tuottaa sähkövastuksilla, puulla tai öljyllä. [6.]

Tämä lämpöpumppu sopii erinomaisesti keskuslämmitysjärjestelmään, ja se onkin suosituin lämpöpumppu öljylämmitteisissä omakotitaloissa. Vuotuinen lämpökerroin on 1,7–2,8 riippuen ulkolämpötilasta. [6.]

#### 4.2.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpun lämmönkeruupiirinä toimii rakennuksen poistoilmakanavisto, koska lämpöenergia otetaan talteen puhaltamalla poistoilma liuospatteerin läpi. Liuospatteeri toimii näin lämpöpumpun höyrystimenä.

Poistoilmalämpöpumppu hoitaa rakennuksen ilmanvaihdon ja ottaa poistoilmasta talteen lämpöenergiaa, joka muuten puhallettaisiin taivaan tuuliin. Poistoilmalämpöpumpun toiminta vaatii riittävän ilmanvaihdon rakennuksessa, noin puoli kertaa rakennuksen ilmatilavuus tunnissa. Siksi rakennuksessa olisi hyvä olla esilämmitetty tuloilma, jottei runsaasta ilmanvaihdosta aiheudu ongelmia kuten vedontunnetta. [7.] Poistoilmalämpöpumppu ei vaadi ulkoyksikköä, joten se ei muuta kiinteistön julkisivua eikä aiheuta häiritseviä puhallinääniä. [6.]

Poistoilman lämpötila ei ole riippuvainen vuodenajasta ja ulkolämpötiloista, joten lämmöntuotto on tasaista ympäri vuoden. Siksi se sopii erinomaisesti käyttöveden lämmittämiseen, jonka kulutus on tasaista vuodenajasta riippumatta. Poistoilmalämpöpumppu sopii myös suorasähkölämmitteiseen omakotitaloon, jossa se voi hoitaa käyttöveden

lämmityksen [7]. Omakotitaloon tarkoitettu poistoilmalämpöpumppu lämminvesivaraajineen tarvitsee suurin piirtein saman tilan kuin vanha 300 litran lämminvesivaraaja. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde on 2,6–3,8. [6.]

Viime aikoina on markkinoille tullut poistoilmalämpöpumppuja, joiden maksimilämmitysteho 6,5 kW vastaa pientä maalämpöpumppua [8]. Laitteen tuottama lämmitysteho riittää erinomaisesti matala- ja passiivienergiaomakotitalon lämmitykseen ja käyttöveden tarpeisiin ympäri vuoden. Huipputehontarpeen aikana mahdollisesti tarvittava lisälämmöntuotto hoidetaan yleensä varaajan sähkövastuksilla [6]. Poistoilmalämpöpumppu on kalliimpi kuin muut ilmalämpöpumput. Koska poistoilmalämpöpumppu hoitaa sekä ilmanvaihdon että kaiken tarvittavan lämmityksen, voi sitä pitää maalämpöpumppua edullisempänä investointina.

#### Poistoilman energian hyödyntämistavat

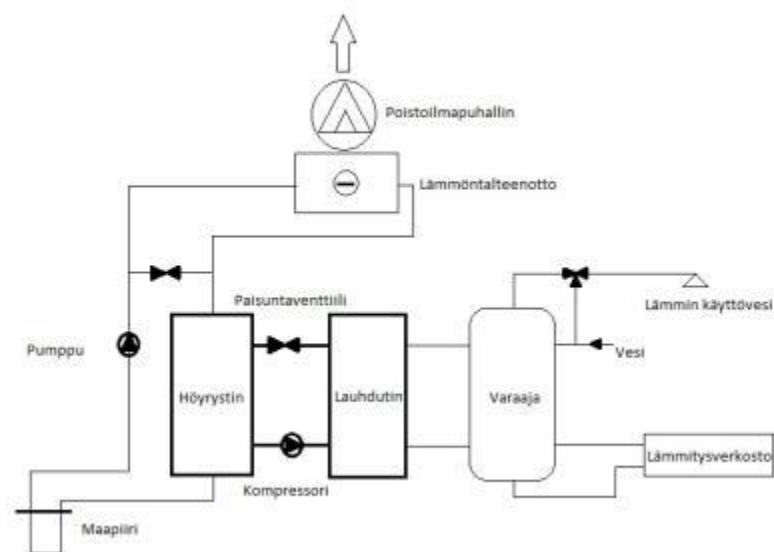
Poistoilmalämpöpumpusta saatava lämpöenergia voidaan hyödyntää usealla eri tavalla. Lämpöenergia voidaan ohjata suoraan lämminvesivaraajaan, jolloin se lämmittää vain käyttövedtä [6]. Tällöin varalla on lisäksi jokin lisälämmönlähde, yleensä sähkö, tasamaan kulutushuippuja ja tarvittaessa hoitamaan legionellabakteereita tappavan veden kuumennuksen. Koneelliseen ilmanvaihtoon siirtyville ja/tai lämminvesivaraajan vaihtoa suunnitteleville omakotitalon omistajille on markkinoilla olemassa valmis tuote, jossa nämä laitteet on yhdistetty yksiin kuoriin [7]. Tämä liitântätapa sopii pientaloon, jossa ei ole keskuslämmitysjärjestelmää, mutta jossa halutaan säästää sähköä.

Poistoilmalämpöpumpun lämpöenergia on myös mahdollista käyttää pelkästään rakennuksen lämmitysjärjestelmässä. Tämä sopii keskuslämmityksellä toteutettuun lämmitysjärjestelmään, jossa lämmöntarve on suuri ympäri vuoden [6]. Myös teollisuuden prosessien tai tuotantotilojen lämmityksen avustaminen voi olla sopiva kohde. Ongelmaksi voi muodostua lämmönkeruupiirin kestävyys sekä saadun hyödyn määrän pienuus verrattuna laitoksen muihin vuotuisiin käyttökustannuksiin.

Poistoilmalämpöpumpun lämpöenergia voidaan ohjata puskurivaraajaan, josta sitä ohjataan sekä käyttöveden että lämmitysjärjestelmän tarpeisiin [6]. Tämä liitântätapa mahdollistaa poistoilmasta saadun energian tehokkaan hyväksikäytön varsinkin asuin kiinteistöissä.

Poistoilmalämpöpumpun kytkeminen olemassa olevaan lämmönjakoverkoston

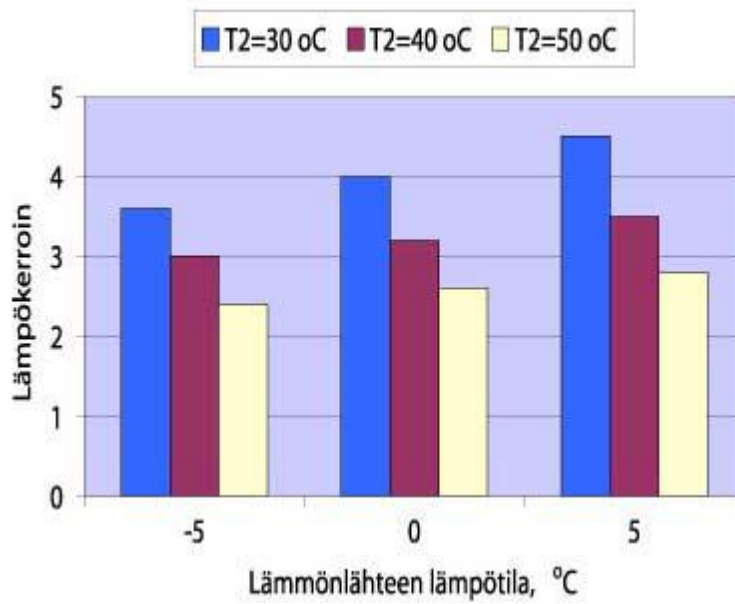
As Oy Palorinteen tapauksessa poistoilmasta saatava lämpöenergia voidaan periaatteessa ohjata samaan piiriin maalämpöpiiriin kanssa (kuva 9). Näin lämpökaivoista normaalisti tuleva noin +1 asteinen neste saadaan poistoilman energialla lämpiämään arviolta +5...+6 asteiseksi ennen sen päätymistä lämpöpumpun höyrystimeen. [9.] Tämä nostaa lämpöpumpun lämpökerrointa, kuten kuvasta 10 näkyy [10].



Kuva 9. Poistoilmalämpöpumppu ja maalämpö samassa piirissä.

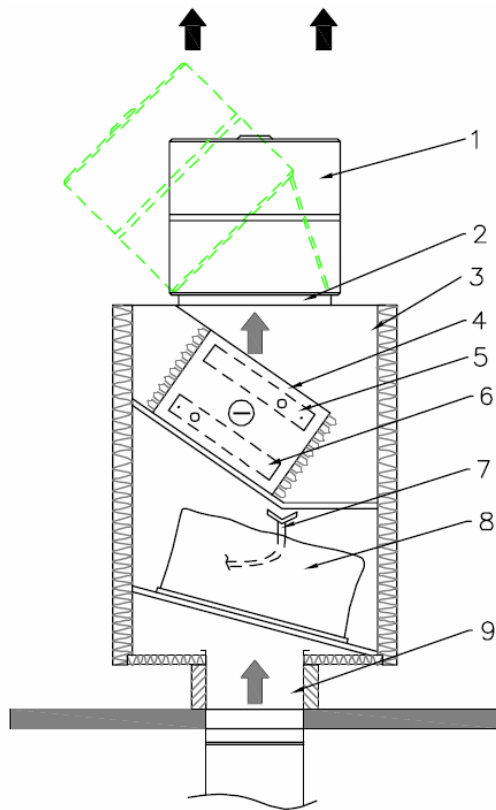
Poistoilman lämmöntalteenotto patterin liittämisen maalämpöpiiriin tekee mahdolliseksi lämmitysjärjestelmän, jossa käytetään vain yhtä suurta lämpöpumppua. Näin säästyy tilaa lämmönjakohuoneesta.

Kuvasta 10 näkyy, että lämmönlähteen lämpötilan kohoaminen -5 celsiusasteesta +5 celsiusasteeseen vaikuttaa lämpöpumppujen lämpökertoimeen eniten matalalämpöisessä lämmitysjärjestelmässä (sininen palkki,  $T_2=30\text{ °C}$ ). Lämpökerroin -5 celsiusasteessa on noin 3,5 ja +5 celsiusasteessa 4,5 [10]. As Oy Palorinteen kaltaisessa vanhassa kiinteistössä lämmitysverkostossa tarvitaan korkeampia lämpötiloja (valkoinen palkki,  $T_2=50\text{ °C}$ ). Tässä tapauksessa lämmönlähteen korkeamman lämpötilan vaikutus lämpökertoimeen jää vähäiseksi.



Kuva 10. Lämpötilatasojen vaikutus lämpökertoimeen [10]

Kuvassa 11 on esimerkkinä Fläkt Woodsin lämmöntalteenottoratkaisu, joka on yhteensopiva yrityksen poistoilmapuhaltimien kanssa. Toisin sanoen Sudenpolku 5:n nykyistä kunnossa olevaa poistoilmapuhallinta ei tarvitse poistaa.



Kuva 11. Fläkt Woodsin lämmöntalteenottolaite [11]

1	Huippumuri	6	Liuospiirin lähtö
2	Kaulus	7	Kondenssiveden poistoputki
3	Kammion seinä	8	Suodatin
4	LTO patteri	9	Liitoslaippa ilmanvaihtokanavaan
5	Liuospiirin paluu		

#### 4.3 Suorahöyrystinlämpöpumppu

Suorahöyrystinlämpöpumpun lämmönkeruutapa muistuttaa maalämpöpumppua, mutta poikkeaa silti kaikista muista lämpöpumpuista. Sen höyrystimenä ja samalla lämmönkeruupiirinä toimii suoraan maahan tai lämpökaivoon asennettava kupariputkisilmukka, jossa kylmäaine kiertää. Lämpö taas voidaan luovuttaa ilmalämpöpumppujen tapaan



suoraan huoneilmaan puhaltamalla, käyttöveden lämmitykseen ja/tai kiinteistön lämmittämiseen. Vuosihyötysuhde on suoraan huoneilmaan puhaltamalla 2,0...2,8 ja käyttöveden/kiinteistön lämmityksessä 1,8...2,2. [6.]

Suorahöyrystinlämpöpumpusta puuttuu erillinen lämmönkeruuliuospiiri pumppuineen ja höyrystimenä toimiva erillinen lämmönvaihdin. Samalla puuttuu myös näiden aiheuttamat lämmönvaihdin- ja pumppaushäviöt, jolloin suorahöyrystinlämpöpumppu on teorias-  
sa energiatehokkaampi kuin muut lämpöpumput. Se on yksinkertaisuutensa takia myös muita edullisempi investointi. [6.]

Käytännössä suorahöyrystys on osoittautunut ongelmalliseksi toteuttaa Suomen ilmas-  
tossa. Kupariputkisilmukan ympärille muodostuu jäätä, joka laskee lämpökerrointa. Var-  
sinkin vaakaan asennetun höyrystinputken lämmönkeruualue jäätyy ja routii. Lämmön-  
keruupiirin toteutustapa taas on herkkä maaperän liikkeille, joka aiheuttaa voitelu-  
ainekierto-ongelmia kompressorille. [6.] Siksi suorahöyrystystä käytetään lähinnä vain  
teollisuuden prosesseissa.

#### 4.4 Maalämpö

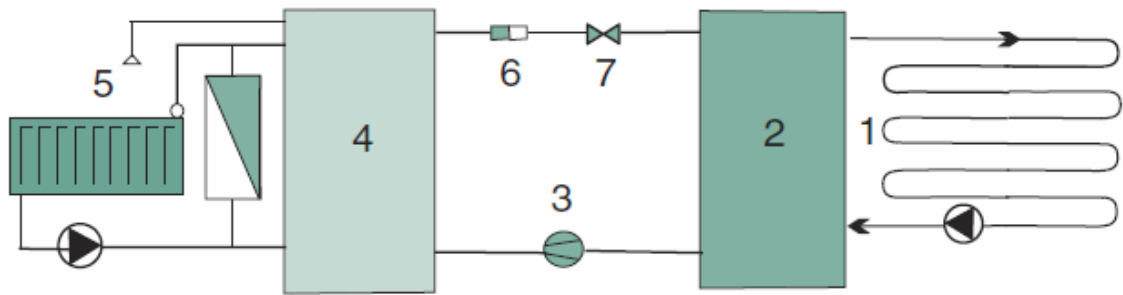
Ensimmäinen kaupallinen maalämpöjärjestelmä kiinteistön lämmitykseen asennettiin  
USA:ssa 1940-luvulla [12]. USA:ssa käytetään yleisesti niin sanottuja täysteholämpö-  
pumppuja, jolloin se on mitoitettu huipputehontarpeelle. Täysteholämpöpumppu voi  
hyödyntää koko potentiaaliaan vain noin 1000 tuntia vuodessa, mutta se ei vaadi rinnal-  
leen lisälämmönlähdettä. Euroopassa käytetään yleisemmin osatehomoitettuja pump-  
puja, jolloin pumpun koko potentiaali on käytössä keskimäärin 2300 tuntia vuodessa.  
Osatehomoitus tarvitsee kuitenkin rinnalleen lisäenergianlähteen huipputehontarpeen  
aikana. [13.]

Muualla maailmassa maalämpö on paljon laajemmassa käytössä kuin Suomessa. Ruot-  
sissa on pelkästään vuosina 2002–2011 myyty yli 990 000 lämpöpumppua [14]. Suo-  
messa tullaan jälkijunassa, mutta vuosi 2011 oli todellisen kasvun aikaa Suomen läm-  
pöpumppumarkkinoilla. Tuolloin maalämpöpumppuja myytiin vajaat 14 000 kappaletta,  
kasvua vuoden 2010 lukuihin 72 %. Myös muita lämpöpumpputyyppisiä myytiin hyvin,  
kokonaislukumäärä maalämpöpumput mukaan luettuna oli 71 867 kappaletta. [15.]

#### 4.4.1 Toimintaperiaate

Maalämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin muillakin lämpöpumpuilla, ero löytyy lämmönkeruutavasta. Maalämpöpumput hyödyntävät maaperän pintakerrokseen tai vesistöihin sitoutunutta aurinkoenergiaa. [6.] Auringon säteilyenergia vaikuttaa vain noin 10 metrin syvyyteen maankuoressa, joten lämpökaivoista saatava lämpöenergia on peräisin maankuoren radioaktiivisten aineiden hajoamisesta ja geotermisestä toiminnasta [16]. Suomessa maaperän vuotuinen lämpötila on yleisesti 5- 7 °C, ollen joillakin alueilla jopa +10 °C 300 metrin syvyydessä [17].

Maalämpöpumppujärjestelmää suunniteltaessa keruuputkiston pituus kannattaa hieman yli- kuin alimitoitaa. Näin saadaan vuosihyötysuhteeltaan parempi järjestelmä. Alimitoituksesta putkistosta ei saada tarpeeksi lämpöenergiaa lämmöntarvehuippujen aikaan, jolloin joudutaan turvautumaan lisälämmönlähteeseen. Maalämpöjärjestelmässä tämä tarkoittaa yleensä sähkövastuksilla lämmittämistä. Alimitoitettu lämmönkeruupiiri voi myös laskea lämmönkeruupiirin lämpötilaa liikaa, jolloin putkiston pintaan kertyy jäätä. Tämä aiheuttaa nostetta putkistoon ja voi johtaa lämmönkeruupiirin tehon huononemiseen sekä putkiston vaurioitumiseen. Onkin suositeltavaa, että maalämpöpumpun toimittaja hoitaa suunnittelun, mitoituksen, lämpökaivon porauksen ja laitteiston asennuksen. Maalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin COP on 2,6–3,6 riippuen tehomitoituksesta ja kytkentätavasta. [6.] [18]. Kuvassa 12 on maalämpöpumpun toimintaperiaate.



- |               |                     |
|---------------|---------------------|
| 1 maapiiri    | 5 lämmitysverkosto  |
| 2 höyrystin   | lämmin käyttövesi   |
| 3 kompressori | 6 suodatin          |
| 4 lauhdutin   | 7 paisuntaventtiili |

Kuva 12. Maalämpöpumpun toimintaperiaate, LVI-kortti 10-10397 [18]

1. Keruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka lämpenee muutaman asteen nollan yläpuolelle kiertonsa aikana maaperässä tai vesistössä.
2. Höyrystimessä keruupiirin nesteestä saatava lämpömäärä riittää höyrystämään läm-pöpumpussa kiertävän kylmäaineen.
3. Höyrystyneen kylmäaineen painetta nostetaan kompressorilla, jolloin myös kylmäaineen lämpötila nousee jopa sataan celsiusasteeseen.
4. Kylmäaine lauhtuu lämpöpumpun lauhduttimessa hieman alle nollaan celsiusasteeseen muuttuen jälleen nesteeksi, jolloin se luovuttaa lämpöä lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen.
5. Lämmönjakoverkostossa viilennyt vesi palaa takaisin lauhduttimeen (4) lämpene-mään.
6. Suodatin poistaa epäpuhtaudet ja ilmakuplat kylmäaineesta.
7. Paisuntaventtiilissä lauhduttimesta palaavan kylmäaineen painetta lasketaan jol-loin myös sen lämpötila entisestään laskee.

#### 4.4.2 Maalämpöpumpun tehomitoitus

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko osateholle tai täysteholle. Osatehomitoituksessa lämpöpumpun energiantuotto riittää kattamaan 50...70 % rakennuksen lämmitystehon huipputarpeesta. Huipputehontarvetta vaativia vuorokausia on lämmityskaudessa vähän, joten osatehomitoitettu järjestelmä tuottaa käytännössä 80...95 % vuotuisesta lämmitystehontarpeesta. Loput 5...20 % tuotetaan yleensä lämpöpumpun sähkövastuksilla. Osatehomitoitettu maalämpöpumppu käy pitkiä jaksoja lämmityskaudella, mikä parantaa pumpun hyötysuhdetta. Osatehomitoituksella säästetään maalämpöpiirin ja lämpöpumpun investointikustannuksissa verrattuna täystehoon, mutta huipputehontarpeen lisälämpöenergian tuotanto maksaa enemmän. [6.]

Täystehomitoitettu maalämpöpumppu ja lämmönkeruupiiri tuottavat kaiken kiinteistön tarvitseman lämmitysenergian myös kovimmilla pakkasilla. Täystehomitoitettu järjestelmä vaatii tehokkaamman lämpöpumpun, pidemmän lämmönkeruupiirin ja suuremman lämminvesivaraajan kuin osateho. Täysteholämpöpumppu käy lyhyitä jaksoja osakuormalla, joka aiheuttaa pumppua rasittavia toistuvia käynnistyksiä. Täysteho on osatehoa jonkin verran kalliimpi investointi, mutta varsinkin suurissa kohteissa sen käyttökustannukset ovat osatehoa edullisemmat. Molempien tehomitoitusten hyödyt ja haitat täytyy tarkastella tapauskohtaisesti. [6.]

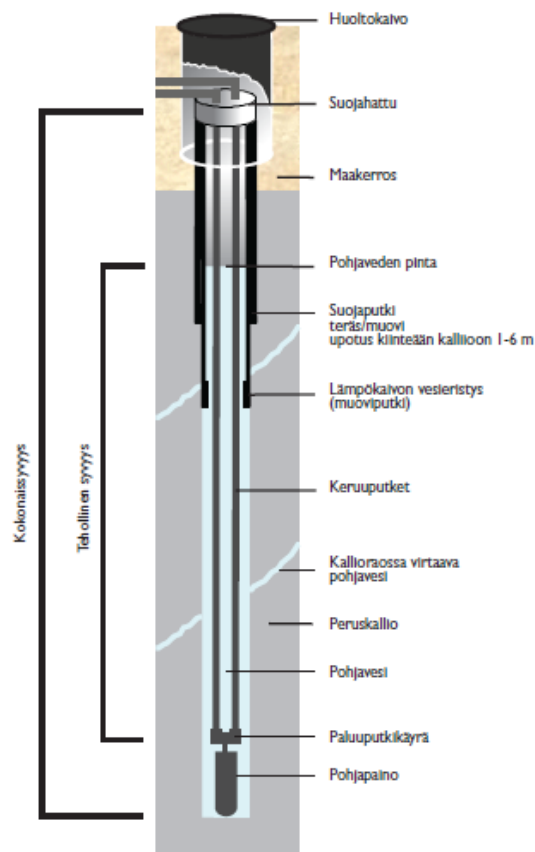
#### 4.4.3 Lämpökaivo

Nykyään yleisin lämmönkeruupiiri on pystyyn tai viistosti porattu lämpökaivo johon lämmönkeruuputket asennetaan. Lämpökaivon enimmäissyvyudeksi suositellaan 200 metriä, koska syvemmillä kaivolla pumppauskustannukset nousevat suhteessa saatuun energian määrään, joka pienentää maalämmön hyötysuhdetta. Tarvittaessa kaivoja voidaan porata useampia ja liittää ne samaan liuospiiriin. Useamman lämpökaivon tapauksessa voidaan käyttää myös useampaa lämpöpumppua rinnan. Lämpökaivo soveltuu siten erinomaisesti ahtaille tonteille tai kun lämmöntarve on suuri. Lämpökaivon häiriötömän toiminnan varmistamiseksi siitä ei suositella otettavan käyttöä lainkaan, mahdollista kesäaikaista kasteluvettä lukuun ottamatta [19]. [6.]

Lämpökaivon etu on suuri lämmöntuotto pieneltä pinta-alalta. Lämpökaivosta saadaan hieman enemmän lämpöä kuin vesistöstä, ja tuplasti enemmän kuin vaaka- asennetusta maapiiristä. Lämpökaivon teholliseksi syvyydeksi lasketaan vain kaivon veden täyttämä osuus. [6.] [16.]

Keski-Suomessa lämpökaivosta saadaan noin 110 kWh/putkimetri/vuodessa. Jos kaivon ei tule vettä, on se nk. kuivakaivo, jonka laskennallinen energiansaanti jää 50 kWh/putkimetri/vuodessa. Lämpökaivo on pitkäikäinen ja periaatteessa huoltovapaa, eikä se rajoita tontin käyttöä yhtä paljon kuin muut lämmönkeruupiirit.

Suurissa liikekiinteistöissä ja teollisuuskohteissa kaivot voidaan porata yli 300 metrin syvyyteen. Poraaminen on kuitenkin kallista, meluista ja aikaavievää. Yhden 200 metriä syvän kaivon poraamiseen menee kokonaisuudessaan arviolta kaksi työpäivää riippuen maaperästä. Mitä enemmän maanpinnan ja kallion välillä on pehmeää maa-ainesta, sitä kauemmin poraamisessa ja suojausputkituksessa menee. Pehmeä maa-aines vaatii suojausputken asentamisen lämpökaivoon, tai muuten sortumat voivat tukkia kaivon. [20.] Kuvassa 13 on esitetty niin kutsuttu normilämpökaivon rakenne.



### Kuva 13. Lämpökaivon rakenne [21]

Lämpökaivojen poraamisessa kannattaa vaatia noudatettavan Suomen Kaivonporausurakoitsijat Ry:n normilämpökaivo-ohjetta. Lämmönkeruuputkien tulee olla polyeteeniputkea halkaisijaltaan 32 tai 40 mm. Luokitus tulee olla vähintään PEM 6,3 ja putken tuotannon laadunvarmistuksessa käytetään esimerkiksi SFS- standardia tai vastaavaa.[20.] [21.]

### Lämpökaivojen luvanvaraisuus

”Maankäyttö- ja rakennusasetuksen muutos, joka tuli voimaan 1.5.2011 tuo muutoksen kuntien rakennusjärjestykseen. Tulevaisuudessa kunnissa tiedetään uusiutuvan energian määrä, joka tuotetaan maalämpöpumpuilla. Samalla tiedetään paikat ja alueet, jossa maalämpöä käytetään. Kunnat voivat rakennusjärjestyksessä myös vapauttaa maalämmön luvanvaraisuudesta, mikäli niin päättävät”. [22.]

Luvanvaraisuus koskee myös maahan tai vesistöön asennettavia lämmönkeruuputkistoja. Lupa vaaditaan, kun olemassa olevan kiinteistön lämmitysjärjestelmä uusitaan tai vaihdetaan maalämpöä hyödyntäväksi. Lupa vaaditaan vaikka maalämpö kattaisi vain osan lämmitysenergian tarpeesta, eli sitä käytettäisiin lisälämmönlähteenä. Uudisrakennuksien tapauksessa lämmitysjärjestelmän kohtalo ratkeaa rakennusluvan yhteydessä, eikä lupaa tarvitse erikseen hakea. [22.]

Laki jossa luvanvaraisuus määritetään, on Maanrakennuslaki 126§ ja Kajaanin kaupungin rakennusjärjestys kohta 2.3. Kaupungin rakennustarkastaja antaa lausunnon lämpökaivojen soveltuvuudesta alueelle. Lausunnossa selviää rasitteet kuten viemärit, kaukolämpöverkosto tai tietoliikenneyhteydet, jotka estävät lämpökaivojen poraamisen. Kiinteistön sijainti pohjavesialueella voi myös vaikeuttaa luvan saantia.

Rakennustarkastaja mittaa ja merkkää kaivojen paikat. Lisäksi rakennustarkastaja tekee katselmuksen työmaalle ennen lämpökaivojen poraamista sekä sen jälkeen. Näin varmistetaan, että lämpökaivo ei aiheuta vaaraa ympäristölle.

#### 4.4.4 Vaaka- asennus maahan

Lähinnä pientalokohteissa käytettävä lämmönkeruupiiri, jossa putkien vaaka-asennus tapahtuu 0,7-1,2 metrin syvyyteen. Vaaka-asennus on maalämmön lämmönkeruupiireistä edullisin ja nopein asentaa, jos tontti on tarpeeksi iso. Vaakaputkistosta saadaan kuitenkin vähiten lämpöenergiaa putkimetrille vuodessa, jolloin se soveltuu vain pientaloihin. Rakennusvaiheessa vaaka-asennus vaatii suuria pintamaan maanmuokkaustöitä, ja valmiinakin se rajoittaa jossain määrin tontin käyttöä. Lisäksi pintamaahan asennettu lämmönkeruuputkisto laskee maaperän lämpötilaa, mikä voi aiheuttaa maan routimista. Maalajit ja kohteen maantieteellinen sijainti vaikuttavat maaperästä saatavaan energiaan, joten vaaka-asennuksen soveltuvuus täytyy selvittää tapauskohtaisesti. [6.] [19.]

#### 4.4.5 Vesistö

Jos kiinteistö sijaitsee joen, järven tai meren rannalla, kannattaa harkita lämmönkeruupiirin asentamista vesistöön. Vesistöstä saadaan lähes yhtä suuri lämmöntuotto putkimetrille kuin lämpökaivosta, mutta vesistöpiiri on yleensä edullisempi rakentaa. Hyvän energiansaannin ansiosta vesistöön asennettu lämmönkeruupiiri vaatii siis pienemmän pinta-alan kuin maapiiri. [6.] [19.]

Rakennusvaiheessa täytyy ottaa huomioon, että vesistön täytyy olla ainakin 2 metriä syvä heti rannasta. Näin putket voidaan vetää veteen routarajan alapuolelta. Vesistön tulisi olla ainakin 3 metriä syvä, jolloin jäät eivät pääse rikkomaan putkia. Lämmönkeruupiiri vesistössä rajoittaa hieman rannan käyttöä, ja lisäksi putkiston kuntoa on seurattava säännöllisesti. [6.] [19.]

Vesistöön asennettavaa lämmönkeruuputkistoa suunnittelevan kannattaa tehdä ilmoitus paikkakunnan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle (ELY) 30 päivää etukäteen, vaikkei toimenpiteisiin kuuluisikaan ruoppaus. Tämä siksi, että Vesilaki on uudistunut 1.1.2012, ja muun muassa vesistöjen määritelmät ovat laajentuneet. [23.]

#### 4.4.6 Luvat rakennusvalvonnalta

Suunnittelutyön alussa kannattaa selvittää rakennusvalvonnasta sijoittuuko maalämpöjärjestelmä pohjavesialueelle. Pohjavesialueella toimenpideluvan myöntämiseen käytetään tapauskohtaista harkintaa, ja rakentamiselle voidaan joutua asettamaan rajoituksia. Lämpökaivon poraukseen tai maapiirin rakentamiseen täytyy Kajaanissa hakea toimenpidelupa [23.] [24.] Kajaanin rakennustarkastajan lausunto Sudenpolku 5:n tontin rasitteista kertoo, että maalämpökaivoja ei saa porata alueelle, joka alkaa tontin eteläosasta rajoittuen katuun (liite 6).

Kajaanin kaupungin rakennusvalvonnalta saatu toimenpidelupa lämmitysjärjestelmän muuttamisesta maalämpöön on voimassa kolme (3) vuotta siitä hetkestä kun lupa tulee lainvoimaiseksi. Kajaanin kaupungin rakennusvalvonnan internet-sivuilta löytyy kattava hinnasto rakennusvalvontaviranomaisen perimistä maksuista. Kolmen vuoden määräaikaa voidaan myös anoa tarvittaessa jatkoa, mutta luvan käsittely maksaa. Rauenneen luvan käsittelymaksusta voi saada hakemuksesta 50 % takaisin jos rakennustyö on kokonaan aloittamatta. [25.]

#### 4.4.7 Kytkeminen olemassa olevaan lämmönjakoverkoston

Teknisen tilan muunneltavuus mahdollistaa maalämpöjärjestelmän asentamisen nykyisen lämmitysjärjestelmän kanssa samaan tilaan. Omakotitaloissa ja vaihtuvan lauhdutuksen järjestelmissä lämpöpumppu mahtuu yleensä öljy- tai puukattilan paikalle lämmönjakohuoneeseen. Suurissa kiinteistöissä voidaan tarvita useampia lämpöpumppuja ja lämpimän veden varaajia, jolloin kaukolämpöjärjestelmältä vapautuva tila voi osoittautua liian pieneksi. Maalämpöjärjestelmä sopii erinomaisesti keskuslämmitysjärjestelmän tilalle, koska silloin jo olemassa olevaa lämmitysverkostoa voidaan hyödyntää.

Eri valmistajien lämpöpumppujen välillä on melko vähän eroja. Suurin eroavaisuus onkin lauhdutustavassa, joita ovat kiinteä lauhdutus ja vaihtuva lauhdutus.



### Vaihtuva lauhdutus

Lämpöpumpussa jossa on vaihtuva lauhdutus, lämpöä ohjataan suoraan joko käyttöveden lämmitykseen tai lämmitysverkostoon. Toisin sanoen esimerkiksi käyttövettä lämmitettäessä pumpun koko latausteho ohjataan hetkellisesti lämminvesivaraajaan, jolloin lämmitysverkostoon ei lämpöä mene lainkaan. [26.] Lämmitysverkoston lämpötila pääsee siksi laskemaan hetkellisesti. Tämä voi aiheuttaa mm. putkistojen lämpölaajentumisesta johtuvaa ääntä.

Lämmitysverkostoon menevän veden lämpötila säätyy automaattisesti ulkolämpötilan mukaan. Korkeimpia lämmitysveden lämpötiloja tarvitaan vain kovimmilla pakkasilla, joita on vain pieni osa koko lämmityskaudesta. Vaihtuvan lauhdutuksen pumppu tuottaa matalalämpöistä vettä lämmitysverkostoon, joten se sopii esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmään. Vaihtuvan lauhdutuksen pumpun vuosilämpökerroin (COP) on hyvä, ja se kuluttaa sähköä selvästi vähemmän kuin kiinteän lauhdutuksen pumppu. [26.]

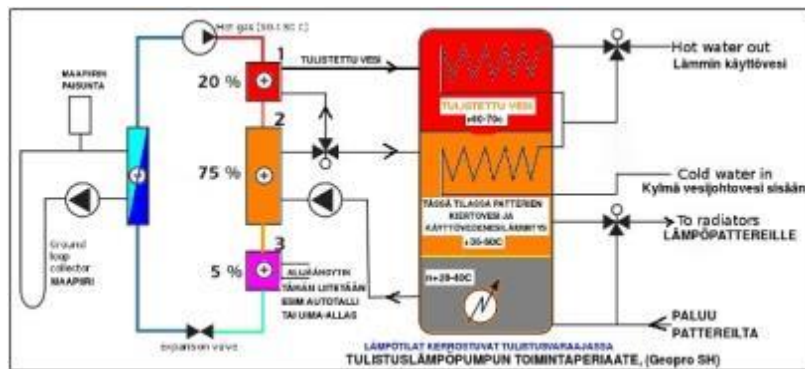
### Kiinteä lauhdutus

Pumpussa jossa on kiinteä lauhdutus, kaikki lämpö ohjataan erilliseen varaajaan. Tällä tavalla lämpöä tuotetaan samalla kertaa sekä käyttövedeen, että lämmitykseen jolloin pumpulle saadaan pitkiä käyntijaksoja. Pumpun kompressoria rasittavia käynnistyksiä on näin ollen vähemmän ja pumppu kestää pidempään. Kiinteälauhduksen pumpun kanssa voidaan myös helposti hyödyntää muita lämmönlähteitä liittämällä ne lämpimän veden varaajaan. Esimerkkeinä poistoilmasta tai aurinkokeräimistä saatu lämpö. [26.]

Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumpussa voidaan käyttää tulistuksen jäähdytintä (tulistin). Tällöin maalämpöpumpun tuottama lämpö otetaan käyttöön kahdessa osassa. Kuumin lämpö siirretään erillisellä lämmönsiirtimellä käyttövedeen ja hieman jäähtynyttä lämpöä käytetään lämmitykseen [6]. Tulistuslämpöpumpun varaajassa kuuma käyttövesi on varaajan yläosassa, ja lämmittämiseen käytettävä vesi varaajan keski- ja alaosassa. Tulistuslämpöpumpussa kompressorin paine voidaan pitää alhaisena, ja samalla tuottaa kuumaa vettä tulistimen avulla. Tämä pienentää laitteen sähkönkulutusta. [26.]

Muutaman valmistajan lämpöpumppeihin on mahdollista tilata lisävarusteena alijäähdytin. Alijäähdytin kerää lämpöpumpun lauhduttimessa kiertävästä kylmäaineesta jäännöslämmöt ennen sen palaamista höyrystimelle [6.]. Alijäähdyttimellä voidaan lämmittää

matalalämpöinen kohde kuten autotalli, varasto tai vaihtoehtoisesti pitää vaikka ulkoportaat sulana. Alijäähdyttimen käyttö ei lisää kompressorin käytön tarvetta [27.]. Kuvassa 14 on esitetty tulistimella ja alijäähdyttimellä varustetun maalämpöpumpun toimintaperiaate.



Kuva 14. Tulistinlämpöpumpun toimintaperiaate [28]

#### Ääneneristys huomioitava

Ääneneristykseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota, koska kaukolämpöjärjestelmä on käytössä paljon hiljaisempi kuin kompressoritekniikkaa hyödyntävä maalämpöjärjestelmä. Kompressorin runkoääntä voidaan vaimentaa esimerkiksi eristämällä se rakennusosista valamalla erillinen laatta, johon järjestelmä kiinnitetään [29]. Myös putkien kiinnitysten täytyy olla rakenteeltaan ja kiinnityssijainniltaan sellaisia, että mahdollisimman vähän ääntä kulkeutuu yläpuolella oleviin asuntoihin. Teknisen tilan seinien, ovien ja ilmanvaihdon tulee myös olla sellaiset, ettei niiden kautta kulkeudu häiritsevissä määrin ilmaääntä muualle kiinteistöön. Tekninen tila voi sijaintinsa vuoksi osoittautua sellaiseksi, ettei kompressorista tulevaa melua voida varmuudella vaimentaa riittävästi. Näin voi olla, jos samassa kerroksessa on asuinhuoneistoja tai rakenteet ovat muutoin ohuemat. Silloin täytyy miettiä tekniselle tilalle sijoituspaikka muualta kiinteistöstä. Rakennusmääräyskokoelman osassa C1 on määritelty ohjeavot muun muassa ilmaäänentasoille, sekä annetaan ohjeita talotekniikan tuennalle ja kiinnityksille.

#### 4.4.8 Tekninen tila

Maalämpö ja lämpöpumppulaitteistot eivät aiheuta erityisiä vaatimuksia teknisen tilan ilmastoinnille tai paloturvallisuudelle. Ääneneristyksessä kannattaa kuitenkin kiinnittää huomiota kiinnitysalustaan, ettei kompressorin käyntiääni välity rakennuksen rungon kautta asuinhuoneisiin. Myös putkien kiinnityksessä kannattaa huomioida läheiset asuinhuoneistot. Lämpöpumppulaitteistojen tekniseen tilaan suositellaan myös rakennettavaksi vedeneristys ja viemäröinti mahdollisten vesivahinkojen varalta. Myös vesipiste tulisi rakentaa, jos sellaista ei ennestään ole. Vaikka lämpöpumppu ei yksinään vaadi kovin suurta alaa, tulisi huoltotoimille olla tilaa jokaisen tekniseen tilaan tulevan laitteen ympärillä. [6.] [19.]

Teknisen tilan sijainnissa on huomioitava lämpöpumppujärjestelmän koko ja paino. Esimerkiksi 100 kW kiinteistölämpöpumppu voi painaa lähes 1000 kg, leveyttä voi olla 1,4 m, syvyyttä niillä on yleensä lähes metri ja korkeuttakin pari metriä [30]. Teknisen tilan sijainti maantasossa ja rakennuksen ulkoseinällä mahdollistaa Sudenpolku 5 tapauksessa esimerkiksi kurottajan tai muun vastaavan koneen käyttämisen laitteistojen siirtämisessä.

## 5 Laskelmat

Seuraavassa selvitetään laskelmin uudelle lämmitysjärjestelmälle asetettavat vaatimukset. Selvytyden vuoksi tekstiosassa esitellään vain käytettävät kaavat ja niillä saadut tulokset. Kaikissa laskelmissa asukasluku on 51 ja kuukaudessa on 30 päivää (360 pv/vuosi). Vertailun vuoksi tarkasteltiin kolmen eri vaihtoehdon toteutuskelpoisuutta As Oy Palorinteen lämmitysjärjestelmäksi. Ne ovat täysteho maalämpö ilman poistoilmalämpöpumppua, poistoilmalämpöpumppu ja kaukolämpö sekä poistoilmalämpöpumppu ja maalämpö. Laskelmat löytyvät kokonaisuudessaan työn loppupuolella olevista liitteistä.

### 5.1 Lämmitystehontarve, käyttövesi

Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) osassa D5 on kaavat ja ohjeet, joilla lämmitystehontarpeen määrittäminen voidaan määrittää. Lämmitystehontarpeen määrittäminen laskelmissa koskee yleensä vain uudisrakennuksia. Eri rakennusosien lämmönläpäisykertoimet lasketaan yhteen, ja otetaan huomioon ulkoiset lämmönlähteet (mm. asukkaat, sähkölaitteet, auringon lämpösäteily). Olemassa olevien rakennusten lämmitystehontarve voidaan määrittää myös toteutuneiden kulutustietojen mukaan. Tässä insinööriyössä hyödynnetään toteutuneita kulutustietoja.

Toteutuneiden kaukolämmön kulutustietojen täytyy olla luotettavasta lähteestä, eli joko lämmöntoimittajalta (laskutetut) tai kiinteistöautomaation mittaamia, mieluiten useamman vuoden ajalta. Kaukolämmön kulutukseen sisältyy myös lämpimän käyttöveden energiantarve, joka täytyy siis vähentää kokonaiskulutuksesta. Siksi tarvitaan myös lämpimän käyttöveden kulutustiedot.

Jos lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole erikseen mitattu, voidaan se määrittää veden kokonaiskulutuksen pohjalta. Tällöin oletetaan, että asuinrakennuksissa lämpimän veden osuus käyttöveden kulutuksesta on 40 %. As Oy Palorinteessä vettä kuluu vuodessa keskimäärin 2660 m<sup>3</sup>, joten lämpimän veden osuus on 1064 m<sup>3</sup>. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia  $Q$  (lkv,netto) lasketaan RakMk D5 5.1.1. kohdan kaavalla (5.1).

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (5.1)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Lämpimän käyttöveden laskennallinen energiantarve on noin 62 MWh vuodessa eli 5,17 MWh/kk (0,172 MWh/päivä). Tämä eroaa kaukolämmön kulutustiedoista, joiden mukaan vuosina 2010–2011 lämmityskauden ulkopuolella (kesällä) kaukolämpöä kului 8,6-11 MWh/kk. Toisin sanoen vuodessa käyttöveden lämmittämiseen kuluisi yli 100 MWh. On mahdollista, että kesällä on ollut lämmöt päällä, esim. remontin takia. Tämä osoittaa, miten tärkeää kiinteistöissä olisi mitata myös lämpimän käyttöveden kulutus erikseen. Käyttöveden lämmitystehontarpeen laskemisessa käytetään laskennallista arvoa (LIITE 7).

## 5.2 Poistoilmalämpöpumppu

Seuraavaksi selvitetään poistoilmalämpöpumpun energiapotentiaali, investointikustannukset ja investoinnin takaisinmaksuaika.

### 5.2.1 Ilmamäärä

Poistoilmasta saatavan energiamäärän selvittämiseksi täytyy ensiksi laskea rakennuksen ilmatilavuus. Rakennuksen ilmatilavuus voidaan laskea kaavalla 1. [9].

$$V = Rm^3 * 0,85 \quad (1)$$

jossa

$V$  rakennuksen ilmatilavuus  $m^3$

$Rm^3$  rakennuksen tilavuus  $m^3$

0,85 kerroin, jonka avulla muutetaan rakennustilavuus ilmatilavuudeksi [9]

As Oy Palorinteen ilmatilavuudeksi saadaan  $7590 m^3$ . Poistoilmalämpöpumpun toiminnan kannalta on tärkeää, että rakennuksen ilma vaihtuu noin joka toinen tunti eli 0,5 kertaa tunnissa [7]. Poistoilmalämpöpumpun vaatima ilmamäärä saadaan siten laskemalla kaavalla 2.

$$V_{PILP\ vaat.} = 0,5 \frac{1}{h} * V m^3 \quad (2)$$

jossa

$V_{PILP\ vaat.}$  poistoilmalämpöpumpun vaatima ilmamäärä

$0,5 \frac{1}{h}$  ilmatilavuuden vaihtotarpeen määrä tunnin aikana

$V m^3$  rakennuksen ilmatilavuus

As Oy Palorinteessä ilmaa vaihtuu  $3795 m^3$  tunnissa.

### 5.2.2 Poistoilman energiamäärä

Seuraavaksi voidaan laskea, kuinka paljon poistoilmasta voidaan teoriassa saada energiaa talteen (kaava 3) [29] [31]. Laskelmassa tarvitaan Mollier- diagrammia (LIITE 4), joka huomioi ilmankosteuden vaikutuksen ilman kykyyn sitoa ja luovuttaa lämpöenergiaa. [9.]

$$P = q * \Delta i * 1,2 \quad (3)$$

jossa

$P$             teho kW

$q$             ilmavirta m<sup>3</sup>/s

$\Delta i$             lämpösisältöero kJ/kg =  $\Delta h$  (entalpia)

1,2            kerroin

Seuraavaksi selostetaan Mollier- diagrammin käyttö. Seuraamalla Mollier- diagrammissa 21 °C (oletettu huonelämpötila) viivaa pisteeseen, jossa se leikkaa  $\phi=0,30$  (oletettu suhteellinen kosteusprosentti 30 %), ja siirtymällä viivojen suuntaisesti oikealle alaviistoon, saadaan selville ilman lämpösisältö eli entalpia,  $h=33$  kJ/kg. Oletetaan että LTO:sta poistuvan nk. jäteilman lämpötila on 5 °C, jolloin sen lämpösisältö diagrammissa on  $h=8$  kJ/kg. Näiden lämpösisältöero  $\Delta h= 24$  kJ/kg.

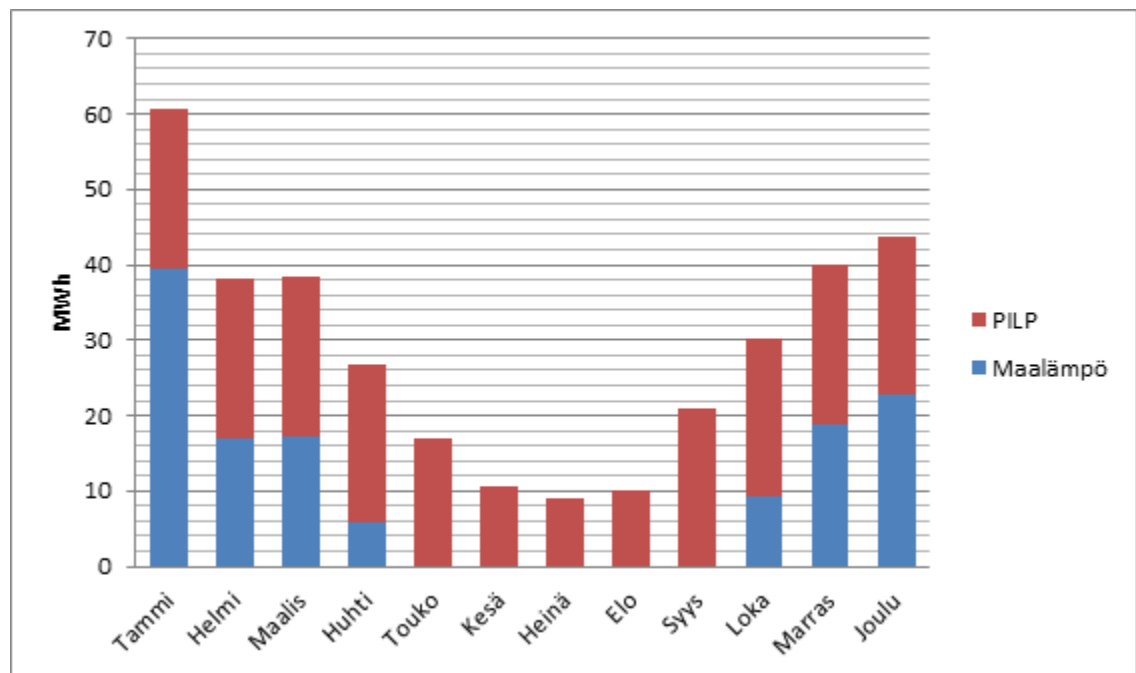
Poistoilman energiapotentiaalin laskemisessa oletettu huonelämpötila 21 °C ja kosteus 30 % on valittu laskuteknisistä syistä varman päälle hieman alakanttiin. Vanhan talon huoneilman lämpötiloissa voi olla useiden asteiden eroja. Katonrajassa, josta huoneiston ilma poistuu, huoneilman lämpötila voi olla lähempänä 23 °C. Lisäksi kylpyhuoneen ja keittiön poistoilmasta johtuen kosteusprosentti on hetkittäin luultavasti suurempi kuin 30 %. Kesäkuukausina, lämmityksen ollessa pois päältä, asuintalojen kosteusprosentti on yleisesti 40...60 %. Kosteuden ja lämpötilan noustessa myös poistoilman sisältämä energiamäärä kohoaa.

Kaavalla 3 laskemalla saadaan poistoilman energiapotentiaaliksi 30,2 kW, joten teoriassa lämpöpumpun tulisi olla vähintään 31 kW, jotta kaikki energia saadaan talteen. Markkinoilta löytyy seuraavana kokona 35 kW lämpöpumppu, joka valitaan pumpun tehoksi laskelmissa.

### 5.2.3 Poistoilmalämpöpumpun energiapotentiaali

Lämmityskauden (3 kk) ulkopuolella poistoilmalämpöpumpun täytyy tuottaa 0,172 MWh vuorokaudessa käyttöveden lämmitykseen. 35 kW:n poistoilmalämpöpumppu tarvitsee noin 5 tuntia tämän tuottamiseen, lopun aikaa ilmanvaihto toimii ilman lämpöpumppua (kaava 4). Lämmityskaudella (9 kk) 35 kW:n poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotto 20 tunnin käyntiajalla on 21 MWh/kk (kaava 5). Vuodessa poistoilmalämpöpumppu tuottaa kesäkuukausien lämpimän veden tuotto mukaan luettuna 204,8 MWh. Se on noin 58 % As Oy Palorinteen koko lämmitysenergiantarpeesta (Kaukolämmön käyttöraportti 2016, keskiarvo vuosille 2012–2016 lukuun ottamatta vuotta 2013). Poistoilmalämpöpumpun mitoitus ja takaisinmaksuaikalaskelmat ovat liitteessä 8.

Poistoilmasta saatavan energian määrittämiseen, sekä lämmöntalteenottopattereiden mitoittamiseen löytyy myös mitoitusohjelmia (mm. Fläkt Woodsin Coils For Windows). Taulukossa 4 käytetään esimerkkinä As Oy Palorinteen vuoden 2016 toteutuneita kaukolämmön kulutustietoja, joista vähennettiin poistoilmalämpöpumpulla tuotettava energiamäärä. Jäljelle jäänyt lämmitystarve täytetään maalämpöpumpulla. Vaihtoehtoisesti lisälämmönlähteenä voisi toki toimia myös kaukolämpö.



Taulukko 4. Poistoilmalämpöpumpun ja maalämmön osuus lämmöntuotannossa



Taulukosta nähdään, että punaisella värillä merkitty poistoilmalämpöpumppu hoitaa yksinään kesäajan lämpimän veden tuoton. Tuotto riittää täyttämään käyttöveden lisäksi myös toukokuun, ja ainakin vuonna 2016 myös syyskuun lämmitystarpeen. Lämmitystehon tarve voitaisiin määrittää myös normeerauksella käyttämällä normaalivuoden kuu-kausikohtaisia lämmitystarvelukuja. Tällöin taulukon 4 kuvaaja kaartuisi tasaisemmin vuosittaisten vaihteluiden vaikutuksen vähentyessä.

#### 5.2.4 Investointikustannukset

Kiinteistössä on uusi poistoilmapuhallin, jota tuskin tullaan vaihtamaan lähivuosina. Tämän kaltaisessa kohteessa se ei ole ongelma, koska lämmön talteenotto rakennetaan erillisistä komponenteista, jolloin nykyinen poistoilmapuhallin voitaneesäilyttää. Poistoilmapuhaltimen yhteyteen liitetään jäähdytyspatteri (höyrystin), joka jäähdyttää poistoilmaa, eli siirtää lämmön patterissa kiertävään nesteeseen. Tämä lämmön talteenotto laiteisto voidaan sijoittaa rakennuksen katolle nykyisen puhaltimen paikalle. Jäähdytyspatterissa lämmönsiirtoneste höyrysty, ja se kuljetetaan putkia pitkin varsinaiselle lämpöpumpulle, joka sijaitsee kiinteistön teknisessä tilassa. Lämpöpumppu liitetään erilliseen puskurivaraajaan, josta sen tuottama lämpöenergia käytetään lämpimän käyttöveden tuottoon.

Poistoilmalämpöpumppuun sisältyy poistoilmapuhallin, kompressori ja lämmönkeruupiirin pumpput. Käytetty sähköenergian määrä on siksi suurempi kuin pelkän poistoilmapuhaltimen. Toisaalta ilmaista lämpöenergiaa saadaan poistoilmalämpöpumpulla talteen 2-3 kertaisesti kulutetun sähkömäärä, kun pelkällä poistoilmapuhaltimella lämpö puhalletaan taivaalle. Kiinteistön sähkönsyöttökaapelin riittävyttä lisääntyneelle sähkönkulutukselle täytyy kuitenkin tarkastella.

Investointikustannuksien laskemisessa ei oteta huomioon mahdollista valtion avustusta kiinteistöjen energiakorjauksille. Asunto-osakeyhtiöille myönnettävien energiaavustusten ehdot ovat tiukentuneet viimeisen viiden vuoden aikana. Painopiste avustusten myöntämisessä on erityisryhmien kuten esimerkiksi vanhusten ja vammaisten elämää helpottavien korjausinvestointien tukemisessa.

Vuonna 2015 asunto-osakeyhtiö ei voi enää saada energia-avustusta, mutta uutena tukimuotona on asunto-osakeyhtiöiden perusparannuslainojen valtioneuvoston takaus. Takaus voi

kattaa 70 prosenttia hyväksytyistä ylläpidon kannalta välttämättömistä perusparannuskustannuksista jotka muodostuvat putkisto-, ulkovaippa- tai energiataloudellisista toimenpiteistä. [32.] Taulukossa 5 on arvio poistoilmalämpöpumpun investoinnista.

Poistoilmalämpöpumppu 35 kW	12 500€
LTO- patteri:	12 000€
Varaaja 2*1,5m <sup>3</sup> á 3500€:	7 000€
IV- putkitukset:	5 000€
Tarvikkeet	5 000€
<hr/>	
Yhteensä	41 500 €

Taulukko 5. Poistoilmalämpöpumpun hinta.

Investointikustannukset ovat arvioita, ja niiden tarkoitus on helpottaa poistoilmalämpöpumpun säästöpotentiaalin hahmottamista. Kustannuksiin ei ole laskettu poistoilmahuuhtamista, koska se on vaihdettu 2010 (ks. 3.2.2. Ilmanvaihto). Puhaltimen hinta on n. 3000 € taajuusmuuttajalla varustettuna (LIITE 2).

#### 5.2.5 Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannukset tarkoittavat poistoilmahuuhtimen ja nestepiirin pumpun käyttämää energiaa. Huoltokustannuksia taas aiheuttavat määräaikaishuollot joihin kuuluvat suodattimien vaihdot ja nestetasojen määrän tarkistus ja lisäys tarvittaessa. Säännöllinen lisästarve on merkki järjestelmässä olevasta vuodosta joka täytyy korjata.

Poistoilmalämpöpumppu kuluttaa 67,6 MWh sähköä tuottaessaan 204,8 MWh lämpöenergiaa. Sähköenergian hinnalla 0,12 €/kWh käyttökuluja tulee noin 8100 € vuodessa. Vastaavan 204,8 MWh lämmön määrä tuotettuna kaukolämmöllä maksaisi noin 17 000 €. Säästöä kertyy siis noin 8900 € vuodessa (LIITE 8).

Alkoholipohjainen lämmönsiirtoneste on tulenarkaa hapen kanssa sekoituessaan, jolloin se voi aiheuttaa tulipalovaaran. Siksi lämmönsiirtonesteen toistuvan lisästarpeen syy

täytyy paikallistaa ja korjata. Lämpöpumpun kompressorin kylmäaineen vajuus taas alentaa lämpöpumpun hyötysuhdetta, koska kompressorin täytyy käydä pidempään täyttääkseen vaaditun lämmöntarpeen. Lisäksi kompressorin kylmäaineen seassa voi olla kompressorin voiteluun tarkoitettuja aineita. Kylmäaineen vajuus voi aiheuttaa kompressorin ylimääräistä kulumista ja lopulta rikkoutumisen.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmissä putkien käyttöikä on 50 vuotta. Pumppujen, puhaltimien ja vesi-glykoli lämmöntalteenottopattereiden käyttöikä on 20–25 vuotta. [33.]

Poistoilmapuhaltimen ja lämmöntalteenottopatterin suojana ovat suodattimet, jottei lika ja pöly tuki niitä. Suodattimet suositellaan vaihdettavaksi vähintään kerran vuodessa, jottei niihin muodostu mikrobikasvustoa. Esimerkkinä Fläkt Woodsin lämmöntalteenotto-laitteeseen tuleva pussisuodatin, koko 592x592x360/8 mm ja suodatusluokka F7, tarve 4 kpl á 42,70 €. Kerran vuodessa vaihdettuna materiaalikustannukset ovat 170 €. Esimerkin hinnat saatu osoitteesta <https://suodatinmestarit.fi/f7-592x592-360-8> (Luettu 28.9.2017).

#### 5.2.6 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika määritetään selvittämällä investointikustannukset, joiden arvioidaan olevan 41 500 €. Tämän jälkeen selvitetään poistoilmalämpöpumpusta saatava hyöty, joka 28.9.2017 tehtyjen laskelmien mukaan on noin 204,8 MWh/vuosi. Tästä sähkön osuus lämpökertoimella COP 3 on 67,6 MWh. Sähköenergian hinnaksi tulee 8112 € vuodessa, joten säästöä kaukolämpöön verrattuna syntyy noin 8900 € vuodessa. Huoltokustannuksia tulee suodattimien vaihdosta kerran vuodessa noin 200 €. 41 500 € investoinnille saadaan 5 vuoden takaisinmaksuaika. Laskelmat ovat liitteestä 8.

#### 5.3 Lämpökaivot

Lämpökaivojen syvyys ja lukumäärä määritetään rakennuksen lämmitystehontarpeen mukaan. Mitoituksessa täytyy ottaa huomioon monia muuttujia, jotka vaikuttavat toisiinsa epäedullisesti. Syvän kaivon poraaminen maksaa enemmän ja lämmönkeruunesteen pumppauskustannukset nousevat. Liian suuri pumppu käy lyhyissä jaksoissa, jolloin

toistuvat käynnistymiset rasittavat pumppua. Liian pieneksi jääneestä piiristä ei saada kerättyä suunniteltua lämpötehoa, jolloin joudutaan turvautumaan useammin lisälämmönlähteeseen.

Maalämpökaivojen ja keruupiirien mitoittamiseen on olemassa useita kaupallisia ohjelmia, joista mainittakoon Earth Energy Designer (EED). Nämä ohjelmat tarjoavat mahdollisuuden tarkempaan mitoittamiseen, ja ovat käyttökelpoisia varsinkin suurissa kohteissa. Maalämmön käyttöönotto vaikuttaa maaperän keskilämpötilaan, ja mitoitusohjelmilla voidaan arvioida myös näiden muutoksien vaikutuksia pitkällä aikavälillä [34].

Lämpökaivojen mitoittamisessa nyrkkisääntöä 50 kWh/kaivometri/vuosi käytetään, kun halutaan varmasti riittävän pitkä keruupiiri [35]. Näin mitoitetuna oletetaan, että kaivo on nk. kuivakaivo josta ei saada vettä. Vedellä täyttyneen lämpökaivon energiansaanto on noin 110 kWh/kaivometri/vuosi Keski-Suomessa. Lämpökaivojen mitoituksessa teholliseksi syvyydeksi lasketaan vain kaivon vedellä täyttynyt osa. Lopullinen lämpökaivojen tehollinen syvyys selviää vasta porausvaiheessa tapahtuvassa koepumppauksessa [36]. Lämpökaivojen porauskustannuksia laskettaessa teholliseen syvyyteen lisätään oletuksena 10 metriä jokaiseen kaivoon, koska kaivot eivät täyty ääriään myöten vedellä.

### 5.3.1 Mitoitus

As Oy Palorinteen kaukolämmön käyttöraportin vuodelta 2016 mukaan kiinteistö kuluttaa keskimäärin 349 MWh vuodessa. Lämpökaivojen mitoituksessa käytetään energiantarpeena varmuuden vuoksi arvoa 400 MWh/a.

Referenssinä olevan täystehomaalämpöjärjestelmän tapauksessa kiinteistön lämmöntarve saadaan kokonaisuudessaan lämpökaivoista. Lämpökaivojen täytyy tuottaa 264 MWh vuodessa pumpun hyötysuhteen ollessa COP 3. Loput 136 MWh tulee lämpöpumpun tekemästä työstä eli sähköstä. Kuivakaivoja tarvitaan 11 kappaletta á 250 m, yhteensä 2640 metriä.

Poistoilmalämpöpumpun tuottaman energiamäärän vähennyksen jälkeen maalämpöpumpulla tuotettavaksi energiamääräksi saadaan 195 MWh. Lämpöpumpun lämpöker-toimen COP ollessa 3, kaivon täytyy tuottaa 128,8 MWh vuodessa. Kolmasosa eli 66

MWh muodostuu pumpun tekemästä työstä eli sähköstä. Kuivakaivoja tarvitaan 6 kpl á 250 m, yhteensä 1380 metriä.

### 5.3.2 Investointikustannukset

Poraamisen hintana käytetään 32 €/m, joka sisältää porauksen, teräksisen suojaputken kalliin asti sekä putkien asennuksen. Jos maakerroksen paksuus ennen kalliota on kymmeniä metrejä, voi suojaputken asentamisesta tulla lisäkustannuksia. Investointi pelkästään maalämpöä hyödyntävän lämmitysjärjestelmän tarvitsemille lämpökaivoille on noin 84 500 € asennuksineen. Lämmitysjärjestelmä joka käyttää sekä poistoilmalämpöpumpua että maalämpöä tarvitsee 1380 metriä lämpökaivoja hintaan 44 160 €.

Kaivoihin tulee PEM 32x2,9 PN 10 putkea. Putkea myydään 100 metrin rullissa ja putki maksaa 1,79 €/m. Lämpökaivojen lisäksi lämpöputkea tarvitaan yhdistämään lämpökaivot kokoojakaivoon ja siitä lämmönjakohuoneeseen. Tämä lisää putken tarvetta noin 200 metrillä. Täystephomoituksessa maalämpöputkea tarvitaan 2900 metriä, joka maksaa 5191 €. Osatehomoituksessa putkea kuluu 1600 metriä joka maksaa 2864 €. Hintojen lähde Taloon.com (Luettu 28.9.2017)

Lämpöputken betonipaino maksaa 52,43 € ja oletetaan että kaivoja joudutaan poraamaan 11 kappaletta jolloin se tekee 576,73 €. Kuuden piirin lämpöputken kokoojakaivo maksaa 3050 €/kpl ja viiden piirin 2790 €/kpl, 11 kaivoa tarvitsevat siis molemmat yhteishintaan 5840 €. Maalämpöpiirin neste 475 €. Maalämmön huoltokaivo 325 €. Hintojen lähde [www.maalampotukku.fi](http://www.maalampotukku.fi) (Luettu 28.9.2017).

Lämpöputkien vaakaosuuksille joudutaan tekemään maankaivutöitä noin 200 metrin matkalle. Maankaivutöiden kustannuksena käytetään arviota 30 €/m. Taulukossa 6 on eriteltynä täystephomo maalämpöpumpun tarvitsemien lämpökaivojen poraamisen kustannukset.

Lämpökaivojen poraus	Maalämpöputki	Eristykset	Maankaivu- ja siirtotyöt	Tarvikkeet	Yhteensä
84 100 €	5191 €	1000 €	6000 €	7216	103 507 €

Taulukko 6. Lämpökaivojen kustannukset, täysteho 11 kpl kaivoja.

Taulukossa 7 on eriteltynä osatehomitoitetun lämpökaivojärjestelmän investointikustannukset.

Lämpökaivojen poraus	Maalämpöputki	Eristykset	Maankaivu- ja siirtotyöt	Tarvikkeet	Yhteensä
44 160 €	2864 €	1000 €	3000 €	3904,58 €	54928,58 €

Taulukko 7. Lämpökaivojen kustannukset, osateho 6 kpl kaivoja.

#### 5.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu tarvitsee sähköenergiaa kompressorin ja kierto-vesipumppujen pyörittämiseen, sekä mahdollisesti huipputehontarpeen aikana tapahtuvaan sähkövastuksella avustamiseen. Sähkölämmitteiseen talon sähkönkulutus laskee maalämpöpumpun asentamisen jälkeen. Öljylämmitteisen ja kaukolämpöön liitetyn kiinteistön sähkönkulutus taas nousee. Lisääntynyt sähkönkulutus täytyy ottaa huomioon käyttökustannuksia laskettaessa, ja kiinteistön sähköjärjestelmän riittävyys lämpöpumpulle täytyy tarkistaa. Lämpöpumpun tarvitsema suuri käynnistysvirta voi vaatia kiinteistön pääsulakekoon kasvattamisen. Tällöin myös liittymän kuukausimaksu on korkeampi mikä vaikuttaa takaisinmaksuaikaan. Varsinkin suuret lämpöpumput on yleensä varustettu pehmokäynnistimellä, mikä vähentää käynnistyksessä esiintyvää jännitepiikkiä. Invertteri- eli taajuusmuuttajaohjatut lämpöpumput aiheuttavat vähiten häiriöitä sähköverkkoon, mutta ne maksavat enemmän.

#### 5.4.1 Investointikustannukset

Motivan internetsivuilla on valmis lomakepohja maalämpöjärjestelmän tilaajalle. Yhdeltä toimittajalta kannattaa pyytää mahdollisimman kattava kokonaisuus. Tämä helpottaa tulevaisuudessa takuuasioita, huoltotoimia, varaosien hankintaa sekä mahdollisia rek-lamaatioita. Lisäksi kannattaa tietenkin kilpailuttaa useampia toimittajia. [36.]

Monella maalämpöjärjestelmän toimittajalla on täyden palvelun kokonaisuuksia, jotka sopivat erinomaisesti kiinteistöyhtiön tarpeisiin. Palvelu kattaa suunnittelun, mitoituksen, vanhan järjestelmän purkamisen, lämpökaivojen porauksen ja siitä syntyvän porauspö-lyyn ja lietteen käsittelyn. Lisäksi toimittaja suorittaa uuden lämmitysjärjestelmän asen-nuksen, testauksen ja käyttöönoton sekä käytön opastuksen. Muutama toimittaja tarjoaa myös maalämpöjärjestelmän määräaikaishuollot. Taulukossa 8 on eritelty täysteho maa-lämpöpumpun ja taulukossa 9 osatehoisen maalämpöpumpun kustannukset.

Täysteho lämpöpumppu (täysteho maalämpö tai poistoilma ja maalämpö samalla pumpulla)				
Lämpöpumppu 117 kW	Putkistot	Tarvikkeet	Eristykset	Yhteensä
70 000 €	5000 €	5000 €	1500 €	81 500 €

Taulukko 8. Täysteho lämpöpumpun kustannukset.

Osateho maalämpöpumppu (pilp ja maalämpö omilla pumpuillaan)				
Lämpöpumppu 77 kW	Putkistot	Tarvikkeet	Eristykset	Yhteensä
45 000 €	5000 €	5000 €	1500 €	56 500 €

Taulukko 9. Osatehoisen maalämpöpumpun kustannukset.

Taulukoita vertaamalla nähdään, että osatehopumppu on investointina lähes 70 % edullisempi verrattuna täystehoiseen. Täysteholämpöpumpulla voidaan kuitenkin hoitaa sekä poistoilman energian talteenotto että lämpökaivoista saatava energia, jolloin se toimii hieman korkeammalla hyötysuhteella kuten kappaleessa 4.2.3 olevassa kuvassa 10 on esitetty. Yhtä suurempaa lämpöpumppua käyttämällä säästetään myös pienemmän lämpöpumpun investoinnin hinta.

#### 5.4.2 Käyttö- ja huoltokustannukset

Huoltoihin kuuluu kompressorin kylmäaineen määrän tarkistaminen. Normaalisti kylmäainetta ei tarvitse lisätä, säännöllinen lisäystarve on merkki vuodosta joka täytyy korjata. Nykyisin kylmäaineena käytettävä HCFC on merkittävästi vähemmän haitallinen otsonikerrokselle kuin CFC, kun taas HFC taas ei aiheuta ollenkaan otsonikatoa. HFC ja HCFC-yhdisteillä on myös pienempi kasvihuoneilmiötä kiihdyttävä vaikutus kuin CFC:llä. Lauhduttimet ja putkien liitokset tarkistetaan vuotojen varalta.

Lämmönkeruupiirin nestemäärä ei normaaliolosuhteissa vähene, joten säännöllinen lisäystarve johtuu vuodosta maapiirissä, kokoojakaivossa tai putkiliitoksissa. Alkoholipohjainen lämmönkeruuneste on tulenarka sekoituessaan hapen kanssa, jolloin tekniseen tilaan vuotaessaan se voi aiheuttaa vaaratilanteen. Nestepiirissä kiertävä vesi ja teollisuusalkoholin seos ei ole ympäristölle merkittävästi vaarallinen, mutta denaturointiin käytettävät aineet aiheuttavat ongelmia. Vuoto täytyy paikallistaa ja korjata, koska nesteen vuotaessa lämpökaivoon on pohjaveden pilaantumisen vaara. Vaikka maalämpöpiirissä käytetään melko harmittomia nesteitä, niin päästessään pohjaveteen se voi aiheuttaa maku-, haju- ja värimuutoksia. Niiden poistumisen nopeuttaminen on vaikeaa tai miltei mahdotonta.

Referenssitapauksessa, jossa kaikki kiinteistön tarvitsema lämpö tuotetaan lämpökaivoista täysteho maalämpöpumpulla, sähköä kuluu 136 MWh vuodessa joka tekee 16 320€.



### 5.4.3 Takaisinmaksuaika

Referenssilaskelma, jossa kiinteistön kaikki lämpöenergia tuotetaan lämpökaivoista on taulukossa 10.

Täysteho lämpöpumppu (täysteho maalämpö tai poistoilma ja maalämpö samalla pumpulla)				
Lämpöpumppu 117 kW	Putkistot	Tarvikkeet	Eristykset	Yhteensä
70 000 €	5000 €	5000 €	1500 €	81 500 €

Taulukko 10. Täysteho maalämpöpumppuinvestoinnin hinta.

Referenssinä olevan täystehomaalämpöjärjestelmän tapauksessa kiinteistön lämmön-  
tarve saadaan kokonaisuudessaan lämpökaivoista. Lämpökaivojen täytyy tuottaa 264  
MWh vuo-  
dessa pumpun hyötysuhteen ollessa COP 3. Loput 136 MWh tulee lämpö-  
pumpun tekemästä työstä eli sähköstä. Sähkön hinnalla 0,12 snt/kWh käyttökustannuk-  
sia tulee 16 320 € vuodessa. Vastaavan lämpöenergian tuottaminen kaukolämmöllä  
maksaa 33 240 € vuodessa, joten säästöä kertyy 16 928 € vuodessa. Investoinnin hinta  
on 185 007 €, jolloin täystehomaalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan 11  
vuotta.

Poistoilmalämpöpumpun tuottaman energiamäärän vähennyksen jälkeen maalämpö-  
pumpulla tuotettavaksi energiamääräksi saadaan 195 MWh. Lämpöpumpun lämpöker-  
toimen COP ollessa 3, kaivon täytyy tuottaa 128,8 MWh vuodessa. Kolmasosa eli 66  
MWh muodostuu pumpun tekemästä työstä eli sähköstä.

Poistoilmalämpöpumpun ja maalämpöpumpun yhdistelmälle takaisinmaksuaika on noin  
14,4 vuotta. Tähän ei ole otettu huomioon energian hinnan kohoamista, lainojen korkoa  
eikä mahdollisia energia-avustuksia. Laskelmat löytyvät liitteestä 10.

Maalämpöpumpun odotettavissa oleva käyttöikä on 25–30 vuotta, mutta itse kompres-  
sori joudutaan uusimaan n. 10–15 vuoden välein. Maapiiri ja lämpökaivo eivät periaat-  
teessa vaadi uusimista. [33.] Kompressorin uusimisesta aiheutuvia kuluja ei oteta huo-

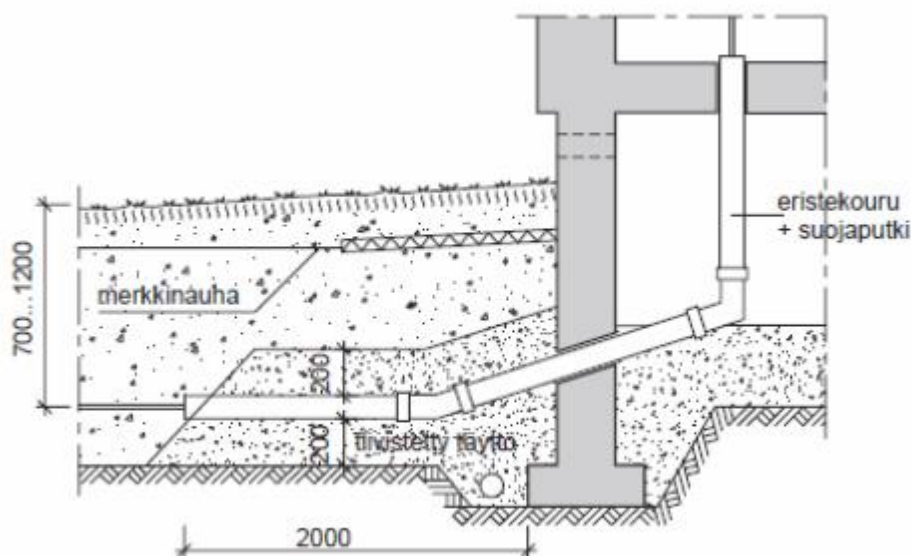
mioon, vaikka se voi tapahtua ennen kuin maalämpöinvestointi on maksanut itsensä takaisin.

Kaukolämpöalueella maalämpöön siirtyvälle taloyhtiölle ei enää vuonna 2015 myönnetä energia-avustusta, mutta uutena tukimuotona on asunto-osakeyhtiöiden perusparannuslainojen valtioneuvoston takaus. Takaus voi kattaa 70 prosenttia hyväksytyistä ylläpidon kannalta välttämättömistä perusparannuskustannuksista jotka muodostuvat putkisto-, ulkovaippa- tai energiataloudellisista toimenpiteistä. [32.]

### 5.5 Lämminvesivaraajat, eristykset ja tarvikkeet

Poistoilmalämpöpumpun yhteyteen liitettävän puskurivaraajan riittävä koko on arvioitu 3 m<sup>3</sup>[26]. Kuljetusteknisistä syistä yhden suuren 3 m<sup>3</sup> säiliön sijaan käytetään kolmea 1 m<sup>3</sup> tai kahta 1,5 m<sup>3</sup> varaajaa. Hintaa kahdelle 1,5 m<sup>3</sup> varaajalle tulee noin 7 000 €. Lisäksi asennustarvikkeisiin kuluu noin 5 000 € (kohta 5.2.4).

Maalämmön keruuputken kulku rakenteiden läpi toteutetaan Ø 100 mm suojaputken sisässä, eristettynä 10–20 mm paksuisella putkieristeellä, vähintään kahden metrin etäisyydelle rakennuksen seinästä (kuva 16) [6]. Lisäksi eristuksen tulisi jatkua kokoojakaivosta lämpökaivoon, ja sielläkin mielellään routarajan alapuolelle saakka. [19.]



Kuva 15. Lämmönkeruuputken läpivienti rakenteissa [6]

## 5.6 Sähkönkulutuksen lisääntyminen

Nopea kysely paikalliselta sähköyhtiöltä valotti hieman lämpöpumppujen lisääntyneestä sähkönkulutuksesta aiheutuvia kuluja. Lämpöpumpputoimiseen lämmitysjärjestelmään siirtyminen lisää kiinteistön sähkönkulutusta verrattuna kaukolämpöjärjestelmään. Kaukolämpöjärjestelmässä eniten sähköä kuluttaa kaukolämmön kiertopumppu. As Oy Sudenpolulla kiinteistösähköä on kulunut keskimäärin 42,8 MWh vuodessa. Tämä sisältää kaiken kiinteistössä käytetyn sähkön.

Lämpöpumppujärjestelmässä tulee edellä mainittujen lisäksi lämmönkeruupiirin kiertopumpun sekä itse kompressorin sähkönkulutus. Karkeasti laskettuna kompressorin tuottamasta lämmitysenergiasta 1/3 tuotetaan sähköllä, mikä tarkoittaa As Oy Sudenpolun tapauksessa 136 MWh sähköä vuodessa pelkästään lämmöntuottoon. Tämän lisäksi tulee kiinteistössä asumiseen käytettävä sähkö.

Lämpöpumppujärjestelmän kompressoreiden käynnistysvirta voi vaatia kiinteistön pääsulakekoon suurentamisen. Tämä voi aiheuttaa muutostarpeita sähköliittymän lisäksi myös kiinteistön sähköpääkeskukseen. Nykyistä 3x80A sulakekokoa voi joutua kasvatamaan lisäliittymällä jopa 200 A, jolloin joutuisi maksamaan liittymismaksun uudelleen sekä kuukausittainen perusmaksu määräytyisi uusiksi. Kuitenkin kerrostalossa, jossa on yksi tai useampi sauna sekä mahdollisesti myös kylmiö, voi sähköjärjestelmä olla riittävä ilman muutoksia. Nämä asiat täytyy ottaa kuitenkin huomioon takaisinmaksuaikaa arvioitaessa.

Nykyaikaisissa ja varsinkin suurikokoisissa lämpöpumpuissa käytetään pehmokäynnistintä joka pienentää käynnistyksessä syntyvää jännitepiikkiä. Taajuusmuuttaja eli invertteriohjattu lämpöpumppu on pehmokäynnistintäkin parempi, eikä sen käynnistyksessä aiheuttama jännitteenalenema useinkaan vaadi muutoksia kiinteistön sähköverkkoon tai sulakekoon. Tämän insinööriyön kohteena olevassa kiinteistössä sähköjärjestelmät on uusittu 2013, joten niiden oletetaan riittävän lämpöpumppujärjestelmälle.

## 6 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä laskelmin saadut tulokset ovat suuntaa antavia. Lämpimän käyttöveden kulutuksen mittausta ei tämän ikäisessä kiinteistössä yleensä ole, joten sen puute pakotti käyttämään RT-kortiston taulukkoarvoa. Tällöin oletetaan, että asuintalon käyttöveden kokonaiskulutuksesta 40 % on lämmintä käyttövettä, jonka kulutus on tasaista vuoden ympäri. Vuoden 2013 kulutustietoja ei käytetty koska linjasaneeraus väärästi lukemia.

Lämpimän käyttöveden kulutus vaikuttaa kaukolämmön kulutukseen. Ristiriita toteutuneen kaukolämmön kulutuksen ja oletetun lämpimän käyttöveden kulutuksen välillä ilmeni laskettaessa kesäajan lämmitystehontarvetta. Tästä mahdollisesti aiheutunut virhe on niin pieni, ettei sillä mielestäni ole käytännön merkitystä.

Suurin epävarmuustekijä liittyy lämpökaivojen soveltuvuuteen As Oy Palorinteen tontille. Alueella mahdollisesti olevat maanalaiset rakenteet voivat estää lämpökaivojen poraamisen. Kaivojen lopullinen syvyys ja lukumäärä selviävät vasta porausvaiheessa, joten porauksesta aiheutuvia kustannuksia on hankala arvioida. Arvioin, että tontille mahtuu enintään yksitoista lämpökaivoa jos maaston kaltevuus ei aseta rajoituksia. Nekin täytyisi porata tontin rajalle vinoon, jotta säilytetään riittävät etäisyydet muihin kaivoihin, rakennuksiin ja kunnallistekniikkaan.

Poistoilmalämpöpumpun ja maalämmön hyödyntämiseen As Oy Palorinteessä on monta eri mahdollisuutta. Tämän insinööriyön alkuperäinen ajatus oli, että poistoilmalämpöpumpun energia hyödynnettäisiin vain käyttöveden lämmitykseen. Työn edetessä huomattiin poistoilmalämpöpumpun potentiaali niin suureksi, että lämpöenergiaa riittää myös rakennuksen lämmitykseen. Mielestäni lämmön talteenotto poistoilmalämpöpumpulla tulisi suunnitella ja toteuttaa As Oy Palorinteen tapauksessa heti nykyisen lämmitysjärjestelmän peruskorjauksen tullessa ajankohtaiseksi. Samalla tulisi tarkastella kiinteistön ilmanvaihdon muuttamista kokonaan koneelliseksi, koska poistoilmalämpöpumpun toiminta vaatii tasaisen poistoilmavirran. Lisäksi koneellinen tuloilma nostaa asumismukavuutta.

Maalämpöjärjestelmään kuuluvien laitteistojen sekä lämpökaivojen mitoittamiseen ja sijoitteluun liittyy paljon epävarmuustekijöitä, jotka vaativat lisätutkimuksia.

Olen tyytyväinen insinöörityön aiheeseen, joka vaati selvitystyötä ja laskelmien tekoa. Aihe ei ollut itselleni entuudestaan ollenkaan tuttu ja työn alkuvaihetta hankaloitti referenssikohteiden vähäisyys, koska lämpöpumppubuumi oli Suomessa vasta alkamassa. Insinöörityön teko oli antoisaa ja mielenkiintoista, vaikka välillä työelämä veti mukanaan niin ettei lopputyön teolle meinannut jäädä aikaa eikä mielenkiintoa. Myös nuoren perheen arki kilpaili ansiokkaasti käytettävissä olevista resursseista. Uskon, että työn tulokset ovat konkreettisesti hyödynnettävissä As Oy Palorinteen energiansäästöön vaikuttavien toimenpiteiden valinnassa.

## LÄHTEET

- 1 Pietikäinen, A & Rekonen, I. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. 2007. Rakennustieto Oy. ISBN: 978-951-682-858-2
- 2 Tilastokeskus. Lämmitysenergian kuluttajahintoja. [www-dokumentti]  
[http://www.stat.fi/til/ehi/2011/03/ehi\\_2011\\_03\\_2011-12-15\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2011/03/ehi_2011_03_2011-12-15_tie_001_fi.html) (luettu 15.12.2011)
- 3 Tilastokeskus. Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi. [www-dokumentti]  
[http://www.stat.fi/til/kyki/2017/02/kyki\\_2017\\_02\\_2017-09-13\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/kyki/2017/02/kyki_2017_02_2017-09-13_tie_001_fi.html) (luettu 28.9.2017)
- 4 Tilastokeskus. Lämmitysenergian kuluttajahintoja. [www-dokumentti]  
[http://www.stat.fi/til/ehi/2012/04/ehi\\_2012\\_04\\_2013-03-20\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2012/04/ehi_2012_04_2013-03-20_tie_001_fi.html) (päivitetty 20.3.2013)
- 5 Rakennustieto Oy. Lämmitystarveluku. LVI- kortti 10-10464 (Julkaistu 14.4.2011)
- 6 Rakennustieto Oy. Lämpöpumput. LVI- kortti 11-10332 (Julkaistu 1.3.2002)
- 7 Motiva. Lämpöä ilmassa. [www-dokumentti]  
<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>. (Luettu 26.3.2011)
- 8 Scanoffice Oy. Poistoilmalämpöpumput. [www- dokumentti]  
<http://www.scanoffice.fi/fi/tuotteet/tuoteryhmat/poistoilmalampopumput> (Luettu 2.4.2015)
- 9 Keskustelu Allan Mustosen kanssa 2.4.2012
- 10 LVI-Helin. Lämpöpumpputyypit. [www-dokumentti]  
<http://www.lannenilmatekniikka.fi/pdf/Lampopumpputyypit.pdf> (Luettu 11.12.2012)
- 11 Fläkt Woods Oy. Lämmöntalteenottoyksikkö STEL. [www-dokumentti]  
<http://www.flaktwoods.fi/4c0898a5-7279-4773-a276-c0e101fbdd38> (päivitetty 9.9.2004)

12 U.S. Department of Energy. A History of Geothermal Energy in the United States. [www-dokumentti]

<http://www1.eere.energy.gov/geothermal/history.html> (Luettu 2.2.2011)

13 J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström. Geothermal (Ground- Source) Heat Pumps A World Overview. [www- dokumentti]

<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull25-3/art1.pdf> (Luettu 29.3.2012)

14 Sveriges värmepumpinfo. Försäljningen av värmepumpar i Sverige 2002-2011. [www-dokumentti]

[http://www.svepinfo.se/usr/svep/resources/filearchive/10/diagram\\_forsaljning\\_2002\\_2011.pdf](http://www.svepinfo.se/usr/svep/resources/filearchive/10/diagram_forsaljning_2002_2011.pdf) (Luettu 15.4.2012)

15 Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Maalämpöjytky tuli. [www- dokumentti]

[http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=186&Itemid=26kumentti](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=186&Itemid=26kumentti) (Luettu 29.3.2012)

16 Juvonen, J & Lapinlampi, T. Ympäristöopas 2013, Energiakaivo. Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-11-4211-6 (PDF)

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4) (Luettu 29.3.2012)

17 National Oceanic and Atmospheric Administration. National Climatic Data Center. Borehole data. [www-dokumentti]

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/borehole/eur.html> (Luettu 20.4.2013)

18 (s.28) Rakennustieto Oy. Rakennusten lämmitys. LVI- kortti 10-10397 (julkaistu 1.2.2006)

19 Rakennustieto Oy. Maalämmitys. RT- kortti 50-10755 (julkaistu 1.8.2001)

20 Sotkamon Porakaivo Oy. Usein kysyttyä: maalämpö. [www- dokumentti]

<http://www.sotkamonporakaivo.fi/index.php?id=109> (Luettu 5.2.2012)

- 21 Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry. Poratek- normilämpökaivo. [www-dokumentti]  
<http://www.poratek.fi/fi/lampokaivot/normilampokaivon+kriteerit/> (Luettu 5.2.2012)
- 22 Ympäristöministeriö. Lämpökaivojen poraamiseen jatkossa toimenpidelupa. [www-dokumentti]  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=390757&lan=fi> (Luettu 13.3.2012)
- 23 Motiva. Maalämpö. [www-dokumentti]  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/maalampo](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampo). (Luettu 15.4.2011)
- 24 Kajaanin kaupunki. Ohje maalämpöjärjestelmän rakentajalle Kajaanin kaupungin alueella. [www- dokumentti]  
[http://www.kajaani.fi/Tiedostot/G3\\_tiedostot/Rakennusvalvonta/Rakennusvalvonnan%20RTF/%28Maal%C3%A4mp%C3%B6%29.pdf](http://www.kajaani.fi/Tiedostot/G3_tiedostot/Rakennusvalvonta/Rakennusvalvonnan%20RTF/%28Maal%C3%A4mp%C3%B6%29.pdf) (Luettu 26.3.2012)
- 25 Kajaanin kaupungin rakennustarkastaja. Hinnasto. [www- dokumentti]  
[http://www.kajaani.fi/sites/default/files/rvtaksa\\_1\\_1\\_2017.pdf](http://www.kajaani.fi/sites/default/files/rvtaksa_1_1_2017.pdf) (Luettu 31.7.2017)
- 26 Lämpövinkki Oy. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. [www-dokumentti]  
<http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatoppaatjatyokalut/Maal%C3%A4mp%C3%B6pumpun%20ja%20maal%C3%A4mm%C3%B6n%20valinta%20pikaopas.pdf> (Julkaistu 19.12.2013)
- 27 Oilon Geopro Tulistusmaalämpöpumppu SH esite. [www-dokumentti]  
[http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/Oilon\\_Geopro\\_SH\\_FI.pdf](http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/Oilon_Geopro_SH_FI.pdf)  
(Luettu 11.12.2012)
- 28 Maalämpöfoorumi. Oilon Geopro SH tulistinlämpöpumpun periaatekuva. [www-dokumentti]  
<http://www.maalampofoorumi.fi/index.php?topic=4138.0> (Luettu 12.5.2014)



29 Kompressorin runkoäänen vaimennus erillisellä laatala. Keskustelu Allan Mustosen kanssa 16.2.2012 ja 4.12.2012

30 Alpha-Innotec. Kiinteistölämpöpumppujen tekniset tiedot. [www-dokumentti]

[http://www.costella.fi/uploads/files/Alpha\\_lampopumput/CallidusAIT\\_kiinteistolpt.pdf](http://www.costella.fi/uploads/files/Alpha_lampopumput/CallidusAIT_kiinteistolpt.pdf)  
(Luettu 11.5.2014)

31 Fläkt Woods Oy. Lämmönsiirtimet. [www-dokumentti]

<http://www.flaktwoods.fi/b74e3dfd-1c81-4eed-b9dc-835fe3628ad9> (Luettu 9.4.2012)

32 Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Aran tuet 2015. [www-dokumentti]

<http://www.ara.fi/download/noname/%7B731DBA1C-65E7-48F7-A00C-52E205BBB6D3%7D/22844> (Luettu 19.1.2015)

33 Rakennustieto Oy. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. RT- kortti 18-10922 (Julkaistu 12.5.2008)

34 Building Physics. Earth Energy Designer (EED). [www-dokumentti]

<http://www.buildingphysics.com/index-filer/Page1099.htm> (Luettu 1.3.2012)

35 Lapin ammattiopisto, tekniikan ala, talotekniikka. Maalämpö. Opintomateriaali.

<http://www.raol.roiakk.fi/kt/lvi/lampu/> (Luettu 3.4.2012)

36 SULPU. Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. [www-dokumentti]

[http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu\\_asiakas.pdf](http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu_asiakas.pdf) (Luettu 12.12.2011)

## LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TIEDOT

	Lämmitys	Käyttövesi
Lämmönsiirrin	LPM	LPM
Teho	604 kW	175 kW
Pumppu	Grundfos UPE 32- 120	Grundfos
Teho	0,4 kW	1 kW
Virtaus	Ensio: 1,68 l/s Toisio: 3,3 l/s	Ensio: 0,86 l/s Toisio: 0,96 l/s
Painehäviöt	Ensio: 4 kPa Toisio: 14 kPa	Ensio: 14 kPa Toisio: 18 kPa
Lämpötilat	Ensio: 55-115 °C Toisio: 50-80 °C	Ensio: 21-70 °C Toisio: 10-55 °C

## POISTOILMAPUHALTIMEN TIEDOT

Valmistaja/malli	Teho	Sähköliitäntä	Ohjaus	Vuosimalli
Fläktwoods STEF- 6-006-2-1-5	1,1 kW, 910 rpm	3 x 230V	Taajuusmuuttaja STYR-18-3-S-2-1	2011

Nykyinen kokoonpano sisältää seuraavat komponentit. Hinnat voimassa 30.4.2012 alkaen.

Huippuimuri: 2355 €                      Taajuusmuuttaja: 598 €

Paineensäädin Motron STYZ-01-10-1-1: 430 €

Ulkolämpötila- anturi 10 kohm STYZ-01-11-0-1: 31 €

Kattoläpivienti BOGA-05-1-2-1(korkeus 1250 mm, paloluokka EI 30) : 758 €

Yhteensä: 4172 €

Rahti on 4,2 % myyntihinnasta eli 175,22 €

Vakuutukset ovat, ellei muuta sovita 0,65 % kokonaishinnasta eli 27,96€

Yhteensä: 4330,18 € alv. 0 %

Huippuimurin tehon ohjaus tapahtuu puhaltimen kotelossa olevalla taajuusmuuttajalla, joka mahdollistaa portaattoman ilmanvaihdon tehon säätämisen. Huippuimuri sijaitsee katolla keskellä rakennusta, B- rapun kohdalla.

## KAUKOLÄMMÖN KULUTUSTIETOJEN 2012-2016 NORMITUS

## 1.1 Energiankulutuksen vertaaminen eri ajanjaksoina (peruskaava)

Vertailtaessa saman rakennuksen energiankulutusta eri aikoina käytetään kaavaa 1

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

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus

$Q_{toteutunut}$  = rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia =  $Q_{kok} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$

$Q_{kok}$  = rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus

$S_N \text{ vpkunta}$  = normaalivuoden tai – kuukauden (1971 ... 2000) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$  = kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

Vuosi

$$2012: Q_{norm} = \frac{5420}{5411} \times (411,1 \text{ MWh} - 55,4 \text{ MWh}) + 55,4 \text{ MWh} = 411,7 \text{ MWh}$$

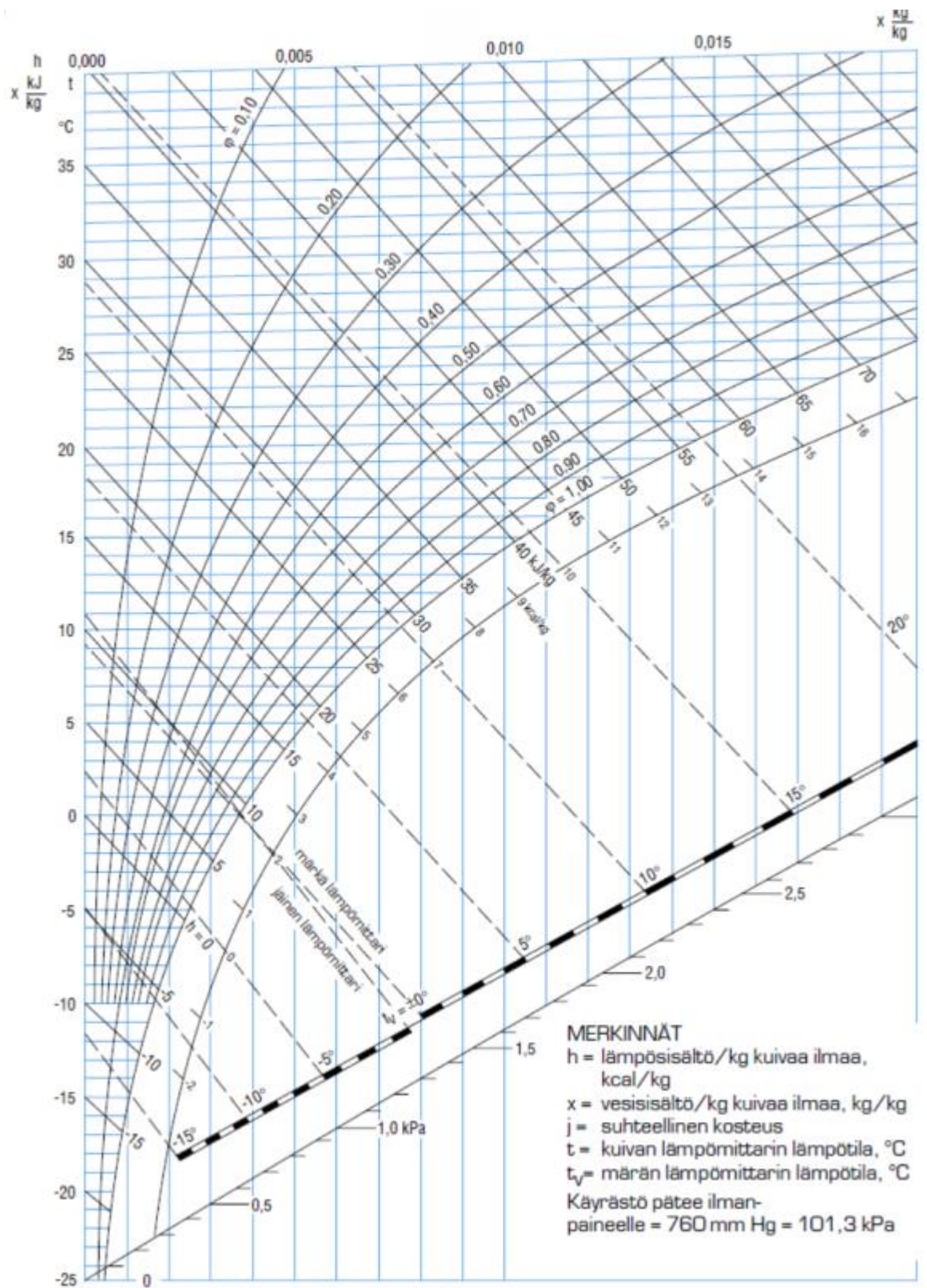
$$2013: Q_{norm} = \frac{5420}{4730} \times (366,4 \text{ MWh} - 45,4 \text{ MWh}) + 45,4 \text{ MWh} = 413,2 \text{ MWh}$$

$$2014: Q_{norm} = \frac{5420}{4766} \times (340,2 \text{ MWh} - 48,3 \text{ MWh}) + 48,3 \text{ MWh} = 380,2 \text{ MWh}$$

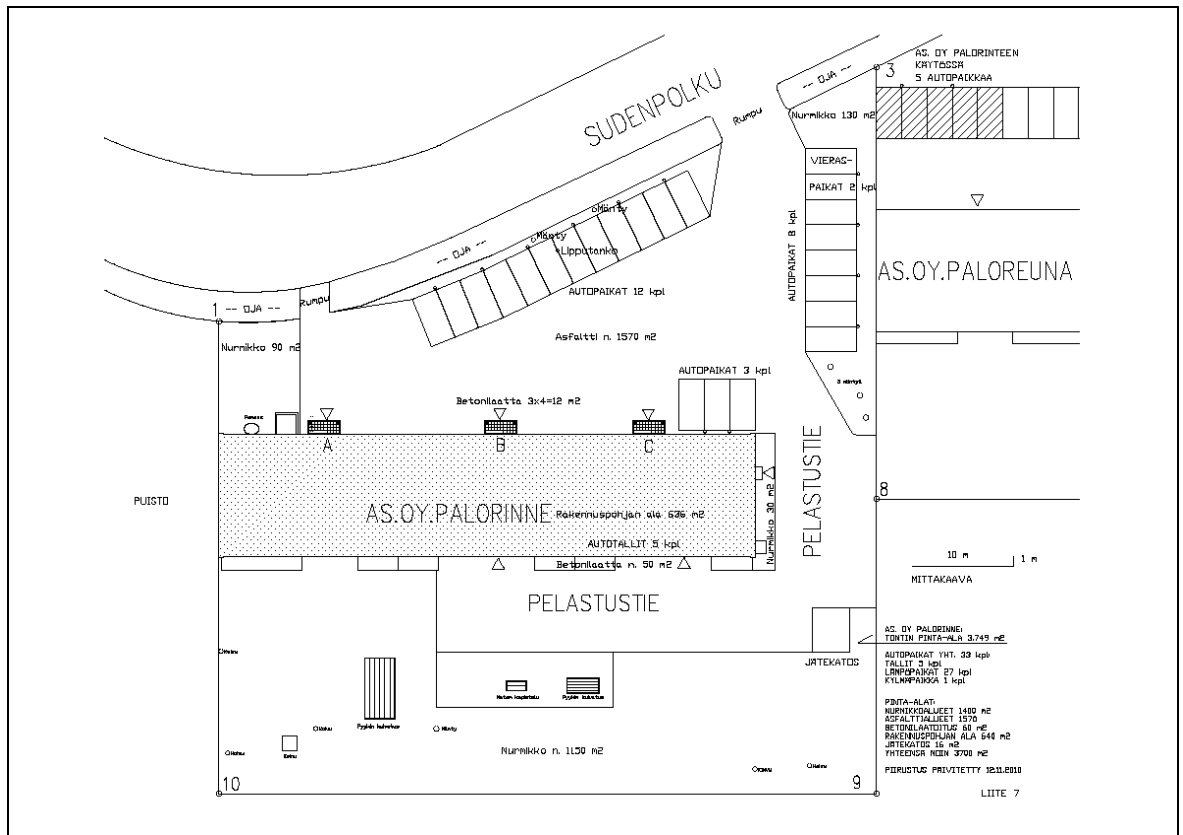
$$2015: Q_{norm} = \frac{5420}{4327} \times (313,7 \text{ MWh} - 52 \text{ MWh}) + 52 \text{ MWh} = 379,8 \text{ MWh}$$

$$2016: Q_{norm} = \frac{5420}{4784} \times (331,6 \text{ MWh} - 45,5 \text{ MWh}) + 45,5 \text{ MWh} = 369,6 \text{ MWh}$$

## MOLLIER- DIAGRAMMI



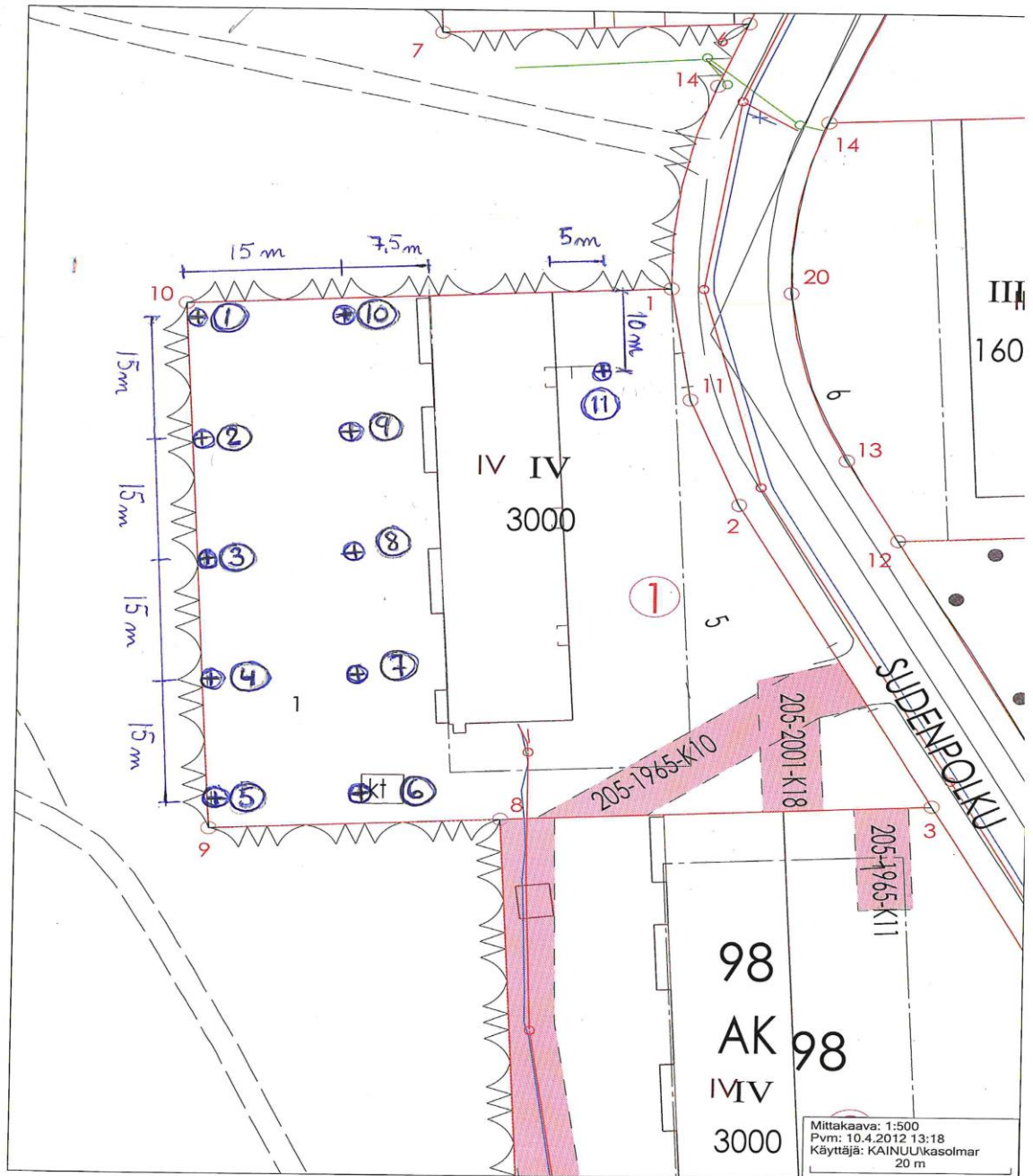
## SUDENPOLKU 5 ASEMAKAAVA



Asemakaava on päivitetty 12.11.2010 ja se on lainattu Sudenpolku 5 kuntoarviosta.

Kiinteistön väestönsuojatilat ovat osin nurmialueen alla, A- rapun kohdalla talon vastakkaisella puolella. Tämä täytyy ottaa huomioon mahdollisen lämpökaivon sijaintia valittaessa. Kiinteistön lämmönjakuhuone sijaitsee C- rapun kohdalla talon vastakkaisella puolella. Tämä täytyy ottaa huomioon kokoojakaivon sijaintia sekä lämmönsiirtoputkien reittiä valittaessa, koska liikkuminen pelastustiestä ei saa estyä.

## SUDENPOLKU 5 RASITEKARTTA JA LÄMPÖKAIVOJEN SIOITTELU



Sudenpolku 5 tontille mahtuu 11 lämpökaivoa, kaivot numeroitu rasitekarttaan. Lämpökaivot 1-6 ja 10 porataan viistosti tontin reunaa kohti ja ne voidaan sijoittaa tontin rajalle, koska tontti rajoittuu puistoon. Lämpökaivojen välinen etäisyys 15 metriä, etäisyys rakennuksiin vähintään 5 metriä, etäisyys naapuritonttiin ja kunnallistekniikkaan vähintään 10 metriä. Maalämpöputket vietään kiinteistöön lämpökaivon numero 7 kohdalta.

## LÄMMITYSTEHONTARPEEN LASKENTA, LÄMMIN KÄYTTÖVESI

Veden kulutus vuodessa keskimäärin  $2660 \text{ m}^3$ , josta 40 % eli  $2660 \text{ m}^3 * 0,4 = 1064 \text{ m}^3$  on lämmintä vettä.

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (5.1)$$

$Q_{lkv,netto}$	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, $1000 \text{ kg/m}^3$
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \text{ kJ/kgK}$
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, $\text{m}^3$
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

$$\Rightarrow 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times 1064 \text{ m}^3 \times \frac{55^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 62066 \text{ kWh} \approx 62 \text{ MWh/a}$$

$$\Rightarrow \frac{62 \text{ MWh}}{12 \text{ kk}} = 5,17 \text{ MWh/kk} \Rightarrow \frac{5,17 \text{ MWh/kk}}{30 \text{ vrk/kk}} = 0,172 \text{ MWh/vrk}$$



## POISTOILMALÄMPÖPUMPUN LASKELMAT

Rakennuksen ilmatilavuus:

$$V = R m^3 \times 0,85 \quad (1)$$

$$\Rightarrow 8930 m^3 \times 0,85 = 7590,5 m^3$$

PILPIN vaatima ilmamäärä:

$$V_{PILP\ vaat.} = 0,5 \frac{1}{h} \times V m^3 \quad (2)$$

$$\Rightarrow 0,5 \frac{1}{h} \times 7590 m^3 = 3795 \frac{m^3}{h}$$

$$\Rightarrow \frac{3795 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}} = 1,05 \frac{m^3}{s}$$

Poistoilman energiapotentiaali:

$$P = q \times \Delta i \times 1,2 \quad (3)$$

$$P = 1,05 \frac{m^3}{s} \times 24 \frac{kg}{m^3} \times 1,2 = 30,2 kW$$

Latausaika kesällä (Lämpimän veden tuotto):

$$0,172 MWh \div \left( \frac{35 kW}{1000} \right) \approx 5 h \quad (4)$$

POISTOILMALÄMPÖPUMPUN LÄMMITYSENERGIANTUOTTO:

Lämmityskauden ulkopuolella (pelkkä LV) 3 kk=90 vrk

$$35 kW \times 5 \frac{h}{vrk} \times 90 vrk = 15750 kWh \approx 15,8 MWh \quad (5)$$

Lämmityskausi 9 kk=270 vrk., käyntiajaksi halutaan enintään 20 h/vrk.

$$35 kW \times 20 \frac{h}{vrk} \times 270 vrk = 189000 kWh \approx 189 MWh \quad (6)$$

Yhteensä:  $15,8 MWh + 189 MWh = 204,8 MWh$

Lämpöpumpun tuottama energia, hyötysuhde COP 3 ilmaista energiaa

$$\Rightarrow 204,8 \text{ MWh} \times 0,66 \approx 135,2 \text{ MWh/a} \quad (7)$$

sähköä kuluu, hyötysuhde COP 3

$$\Rightarrow 204,8 \text{ MWh} \times 0,33 \approx 67,6 \text{ MWh/a} \quad (8)$$

Hinta kaukolämmöllä tuotettuna, 83,12 €/MWh (KL raportti 2016)

$$\Rightarrow 204,8 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \times 83,12 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \approx 17000 \text{ €/a} \quad (9)$$

Hinta sähköllä tuotettuna, 0,12 €/kWh = 120 €/MWh

$$\Rightarrow 67,6 \text{ MWh/a} \times 120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \approx 8100 \text{ €/a} \quad (10)$$

Säästö vuodessa yhteensä: KL hinta € - pilp sähkö €- huoltokustannukset €

$$\Rightarrow 17000 \text{ €} - 8100 \text{ €} - 170 \text{ €} = 8700 \text{ €} \quad (11)$$

Takaisinmaksuaika: poistoilmalämpöpumpun investoinnit/säästö vuodessa

$$\Rightarrow \frac{41500 \text{ €}}{8700 \text{ €/a}} \approx 5 \text{ vuotta} \quad (12)$$

## LÄMPÖKAIVOJEN MITOITUS

**Referenssilaskelma, jossa kaikki lämpö tuotetaan täysteho maalämpöpumpulla jonka COP on 3.**

Kaivosta haettava:

$$\Rightarrow 400 \text{ MWh} \times 0,66 = 264 \text{ MWh} \quad (13)$$

**Mitoitus kuivakaivona (worst case scenario):**

Lämpökaivon tuottona käytetään 50 kWh putkimetrille (0,05 MWh/m), tarvittava tehollinen kaivonsyvyys:

$$\Rightarrow \frac{264 \text{ MWh}}{0,05 \text{ MWh/m}} = 5280 \text{ m} \quad (14)$$

Lämpökaivossa liuospiirin sekä meno- että paluuputki osallistuvat lämmöntalteenottoon, jolloin tarvittava tehollinen kaivonsyvyys puolittuu ollen näin 2640 metriä. Maksimi kaivonsyvyys 250 metriä, jolloin kaivoja tarvitaan

$$\Rightarrow \frac{2640 \text{ m}}{250 \text{ m/kpl}} \approx 11 \text{ kpl} \quad (15)$$

Porauksen hinta 32 € metri, jolloin täystehomaalämpöpumpun tarvitsemien kuivakaivojen hinnaksi saadaan:

$$\Rightarrow 2640 \text{ m} \times 32 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 84\,500 \text{ €} \quad \text{Täysteho} \quad (16)$$

**Mitoitus ideaali kaivona:**

Vedellä täyttyneen lämpökaivon tuottona käytetään 110 kWh putkimetrille (0,11 MWh/m):

$$\Rightarrow \frac{264 \text{ MWh}}{0,11 \text{ MWh/m}} = 2400 \text{ m} \Rightarrow \frac{2400 \text{ m}}{2} = 1200 \text{ m} \Rightarrow \frac{1200 \text{ m}}{250 \text{ m/kpl}} = 4,8 \text{ kpl} \quad (17)$$

Lämpökaivon vedellä täyttynyt osa lasketaan teholliseksi pituudeksi. Oletetaan, että veden pinta on 10 metrin syvyydessä, jolloin kaivojen kokonaispituuteen lisätään 10 metriä/alkava kaivo (+50 m). Porauksen hinta:

$$\Rightarrow \frac{1250 \text{ m}}{250 \text{ m/kpl}} = 5 \text{ kpl} \Rightarrow 1250 \text{ m} \times 32 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 40\,000 \text{ €} \quad \text{Täysteho} \quad (18)$$

### Laskelma jossa poistoilmalämpöpumpusta saatava energia on 204,8 MWh/a

Kaivosta haettava:

$$\Rightarrow (400 \text{ MWh} - 204,8 \text{ MWh}) \times 0,66 = 128,8 \text{ MWh} \quad (17)$$

Lämpökaivon tuottona käytetään 50 kWh putkimetrille (0,05 MWh/m), tarvittava tehollinen kaivonsyvyys:

$$\Rightarrow \frac{128,8 \text{ MWh}}{0,05 \text{ MWh/m}} = 2576 \text{ m} \quad \text{tarvittava kaivonsyvyys puolittuu,} \quad (18)$$

$$\Rightarrow \frac{1288 \text{ m}}{250 \text{ m/kpl}} \approx 5,2 \text{ kpl} \quad \text{lisätään 10 metriä/alkava kpl (+60 m)} \quad (19)$$

$$\Rightarrow \frac{1348 \text{ m}}{250 \text{ m/kpl}} \approx 5,4 \text{ kpl} \quad \text{valitaan 6 kpl 230 m kaivoja} \quad (20)$$

$$\Rightarrow 1380 \text{ m} \times 32 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 44\,160 \text{ €} \quad \text{Osateho} \quad (21)$$

Lämpökaivon tuottona käytetään 110 kWh putkimetrille (0,11 MWh/m), tarvittava tehollinen kaivonsyvyys:

$$\Rightarrow \frac{128,8 \text{ MWh}}{0,11 \text{ MWh/m}} \approx 1171 \text{ m} \quad \text{tarvittava kaivonsyvyys puolittuu,} \quad (22)$$

$$\Rightarrow \frac{585,5 \text{ m}}{300 \text{ m/kpl}} = 1,95 \text{ kpl} \quad \text{lisätään 10 metriä/kpl,} \quad (23)$$

$$\Rightarrow \frac{605,5 \text{ m}}{300 \text{ m/kpl}} = 2,02 \text{ kpl} \quad \text{valitaan 3 kpl 205 m kaivoja (+30m)} \quad (24)$$

$$\Rightarrow 615 \text{ m} \times 32 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 19\,680 \text{ €} \quad \text{Osateho} \quad (25)$$

## MAALÄMPÖPUMPUN LASKELMAT

**Referenssilaskelma, jossa kaikki lämpö tuotetaan 117 kW täysteho maalämpöpumpulla jonka COP on 3.**

Tarvittava energia 400 MWh, josta pumpun osuus

$$\Rightarrow 400 \text{ MWh} \times 0,66 = 264 \text{ MWh} \quad (22)$$

Sähkön osuus

$$\Rightarrow 400 \text{ MWh} - 264 \text{ MWh} = 136 \text{ MWh} \quad (23)$$

Sähkön hinta 0,12 €/kWh=120 €/MWh

$$\Rightarrow 136 \text{ MWh} \times 120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 16\,320 \text{ €} \quad \text{Täysteho} \quad (24)$$

Hinta kaukolämmöllä tuotettuna, säästö vuodessa

$$\Rightarrow 400 \text{ MWh} \times 83,12 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 33\,248 \text{ €} - 16\,320 \text{ €} = 16\,928 \text{ €} \quad (25)$$

Takaisinmaksuaika: lämpökaivot+mlp investointi/säästö vuodessa

$$\Rightarrow \frac{84\,500 \text{ €} + 81\,500 \text{ €}}{16\,928 \text{ €/a}} \approx 10 \text{ vuotta, täysteho} \quad (26)$$

**Laskelma, jossa poistoilmalämpöpumpun energiaa saadaan 204,8 MWh/a, loppu lämpö tuotetaan maalämpöpumpulla, COP 3.**

Pumpun osuus:

$$\Rightarrow (400 \text{ MWh} - 204,8 \text{ MWh}) \times 0,66 = 128,8 \text{ MWh} \quad (27)$$

Sähkön osuus:

$$\Rightarrow 195,2 \text{ MWh} - 128,8 \text{ MWh} = 66,4 \text{ MWh} \quad (28)$$

Sähkön hinta 0,12 €/kWh=120 €/MWh

$$\Rightarrow 66,4 \text{ MWh} \times 120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 7\,968 \text{ €} \quad \text{Osateho} \quad (29)$$

Hinta kaukolämmöllä tuotettuna, säästö vuodessa

$$\Rightarrow 204,8 \text{ MWh} \times 83,12 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 17\,022,9 \text{ €} \quad (30)$$

Takaisinmaksuaika: lämpökaivot+mlp investointi+pilp investointi/säästö vuodessa

$$\Rightarrow \frac{44\,160 \text{ €} + 56\,500 \text{ €} + 41\,500 \text{ €}}{17\,022,9 \text{ €/a}} = 8,3 \text{ a osateho} \quad (31)$$