

Opinnäytetyö (AMK)

Energia – ja ympäristötekniikka

2023

Inka Mäkinen

# As Oy Yliopistonkatu 6 poistoilmalämpöpumpun mitoitus

– Maalämpö ja jätevedenlämmöntalteenotto



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia – ja ympäristötekniikka

2023 | 41 sivua

Inka Mäkinen

## As Oy Yliopistonkatu 6 poistoilmalämpöpumpun mitoitus

- Maalämpö ja jätevedenlämmöntalteenotto

Opinnäytetyön aiheena on mitoittaa ja tarkastella poistoilmalämpöpumpun teknistä soveltuvuutta tutkittavaan kohteeseen. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös jäteveden lämmöntalteenoton sekä maalämmön mahdollisuuksia sekä teknis-taloudellistahyötyä.

Asiasanat:

Poistoilmalämpöpumppu, maalämpö, jäteveden lämmöntalteenotto

Bachelor's thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental engineering

2023 | 41 pages

Inka Mäkinen

## Condominium Exhaust Air Heat Pump

- Geothermal energy and wastewater heat recovery

The subject of the thesis is to dimension and examine the technical suitability of an exhaust air heat pump for a specific building under study. The thesis also examines the possibilities and technical and economic benefits of heat recovery from wastewater and geothermal heat.

Keywords:

Exhaust air heat pump, geothermal heat, wastewater heat recovery

Sisältö	
<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Kohteen esittely</b>	<b>9</b>
2.1 Kohteen kulutustiedot	11
<b>3 Lämpöpumput</b>	<b>14</b>
3.1 Toimintaperiaate	14
3.2 Poistoilmalämpöpumppu	15
3.3 Lämmöntalteenotto	16
3.3.1 Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto	17
3.3.2 Regeneratiivinen lämmön talteenotto	17
3.4 Mitoitus	18
3.5 Kytkenätavat	20
3.6 PILP-järjestelmän sijoitus kohteessa	21
<b>4 Jäähdytystehontarve</b>	<b>23</b>
4.1 Jäähdytystehontarpeen määräykset Suomessa	23
4.2 Kesäajan huonelämpötilojen alentaminen kohteessa	24
<b>5 Jäteveden lämmöntalteenotto</b>	<b>25</b>
5.1 Soveltaminen kohteeseen	26
<b>6 Maalämpö</b>	<b>28</b>
6.1 Maalämpö Suomessa	28
6.2 Maalämpöhankkeen eteneminen As Oy – yhtiöissä	30
6.3 Lämpökaivojen sijoittaminen kohteessa	31
6.4 Kohteen lämmitystehontarve	32
6.5 Tarjouspyyntömitoitus	34
6.5.1 Laskelman tulokset	34
<b>7 Pohdinta/loppupäätelmät</b>	<b>36</b>
<b>Lähteet</b>	<b>37</b>

## **Liitteet**

Liite 1. Taulukko 1. Käyttötarkoituksiluokkien jäähdytysrajat kesäaikana (taulukko 1)

Liite 2. Taulukko 2. Käyttötarkoituksiluokkien käyttöajat ja lämpökuormat (taulukko 7)

## **Kuvat**

Kuva 1. Kohteen katolla sijaitseva huippuimuri (Mikko Jokinen, 2023)

Kuva 2. Kohteen lämmönjakohuone (Inka Mäkinen, 2023)

Kuva 3. Paisuntasäiliöt (Inka Mäkinen, 2023)

Kuva 4. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Merkintöjä rakennustekniikasta, 2018)

Kuva 5. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä kerrostalossa (Kiinteistölehti, 2023)

Kuva 6. Kytkenätavat (Ympäristöministeriö, 2015)

Kuva 7. Kytkenä kohteessa (As Oy Yliopistonkatu 6, 2023)

Kuva 8. Geopotentialikartta (Geologian tutkimuskeskus, n.d)

Kuva 9. Kohteen sijainti Turun alueen pohjavesikartalla (Vesi karttapalvelu, 2023)

Kuva 10. Maalämpökaivot kohteen tontilla (Turun karttapalvelu, 2023)

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

As Oy.	Asunto-osakeyhtiö
COP	Lämpökerroin
MLP	Maalämpöpumppu
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
TRT-mittaus	Thermal Response Test, terminen vastetesti

# 1 Johdanto

Vuosi vuodelta nopeutuva ilmastonmuutos ja vuoden 2022 energiakriisi ovat ajaneet Euroopan Unionia kohti nopeampia toimia kasvihuonepäästöjen hillitsemiseksi. Euroopan komission mukaan EU:n rakennusten osuus energiankulutuksesta on 40 % ja kasvihuonekaasupäästöistä 36 %. (26, Euroopan parlamentti, 2023) EU-parlamentin hyväksymä lakiehdotus rakennusten energiatehokkuudesta ohjaa tiukalla aikataululla monia kiinteistöjä irrottautumaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiaremonttien avulla. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivillä ohjataan EU:n rakennusala vähentämään kasvihuonepäästöjä merkittävästi vuoteen 2030 mennessä ja näin ollen vuoteen 2050 mennessä rakennusala olisi ilmastoneutraali. Linjauksen mukaan uusien rakennusten on oltava päästöttömiä vuodesta 2028 alkaen ja jo olemassa olevat kiinteistöt, jotka eivät vielä täytä energiatehokkuuden vähimmäistasoa, ovat velvollisia saavuttamaan energiatehokkuusluokan E vuoteen 2030 mennessä ja luokan D vuoteen 2033 mennessä. (26, Euroopan parlamentti, 2023) Hallitsevan energiakriisin vuoksi, EU:ssa myös sähkönkuluttajahinnat ovat vuonna 2022 35 % korkeammat verrattuna vuoteen 2021. (27, Eurooppa neuvosto, 2022) Hinnan nousu on seurausta Venäjän hyökkäyksestä Ukrainaan talvella 2022. Sähkön hinta seuraa Venäjältä Eurooppaan toimitetun kaasun hintaa. Energiahintojen pienentämiseksi aloitettiin yhtenäisiä toimia koko Euroopan halki ja hyväksyttiin aloitteita – ja lainsäädäntöjä, joilla turvataan EU:n energiatoimitukset ja energialähteiden monipuolistaminen. (28, Eurooppa neuvosto, 2023)

Suomalaiset taloyhtiöt lähtevät mukaan parantamaan kiinteistöjensä energiatehokkuutta erilaisin toimin. Tämän opinnäytetyön aiheena lämpöpumppuratkaisujen tarkastelu asuinkerrostalossa. Työssä tarkastellaan eri lämpöpumppuratkaisujen vaikutusta energia – ja kustannustehokkuudeltaan ja määritetään niiden toimivuutta pilottikohteessa. Työn pilottikohteena toimii yksittäinen asunto-osakeyhtiö, jolle opinnäytetyö tehdään pohjaksi tulevaa energiaremonttia varten. Kohde on 1970-luvulla rakennettu kerrostalo, jossa on

asuinkohteiden lisäksi myös muutamia toimialatiloja. Kohde sijaitsee Turun keskustassa.

Opinnäytetyössä on kirjallisuuslähteinä käytetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman D2 ja D3 mukaisia ohjauksia ja määräyksiä sekä ajankohtaisia artikkeleita laitevalmistajien sivuilta. Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa on analysoitu koontitaulukoiden arvoihin pohjautuen, jotka määräytyvät rakennuksen käyttötarkoitustyyppin mukaan.

Opinnäytetyö jakautuu kuuteen pääluokkaan, joista ensimmäisessä taustoitetaan pilottikohteen taustatietoja, kuten talotekniikkaa ja toteutuneita kulutuksia. Tämän jälkeen seuraavat luvut käsittelevät yleisesti lämpöpumppujen toimintaa, eri lämpöpumppujärjestelmien soveltuvuutta pilottikohteeseen ja niiden tuomia säästöjä. Lopuksi käydään läpi hankesuunnittelun vaiheita taloyhtiön kannalta ja yhteenvetokappaleessa kootaan työn pohjalta tulokset yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi.



## 2 Kohteen esittely

Opinnäytetyön tarkastelun kohteena on 1971 valmistunut As Oy Yliopistonkatu 6. Kohde sijaitsee Turun keskustassa. Kohteessa päälämmitysmuotona toimii kaukolämpö ja ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poisto.

Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen patterilämmitys. Vuoden 2013 mukaan tehdyssä energiatodistuksessa on rakennus tällä hetkellä luokiteltu energiatehokkuusluokkaan D. As Oy Yliopistonkatu 6 on aktiivisesti kiinnostunut

parantamaan kiinteistönsä energiatehokkuutta- ja taloutta, ja onkin aloittanut linjasaneerauksen suunnittelun. Taloyhtiön puolesta kohteeseen halutaan poistoilmalämpöpumppu pienentämään kohteen lämmityskustannuksia ja parantamaan energiatehokkuutta. As Oy:tä kiinnostaa myös muut lämpöpumppumahdollisuudet ja energiatehokkuustoimeenpiteet, kuten maalämpö ja jäteveden lämmöntalteenotto. Linjasaneerauksen myötä päivitettävä energiatodistus tulee todennäköisesti myös paranemaan

Taulukkoon nro 1 on koottu kohteen perustiedot. Tiedot ovat peräisin isännöitsijäntodistuksesta ja As Oy:n hallituksen puheenjohtajalta Mikko Jokiselta.

*Taulukko 1. Kohteen perustiedot*

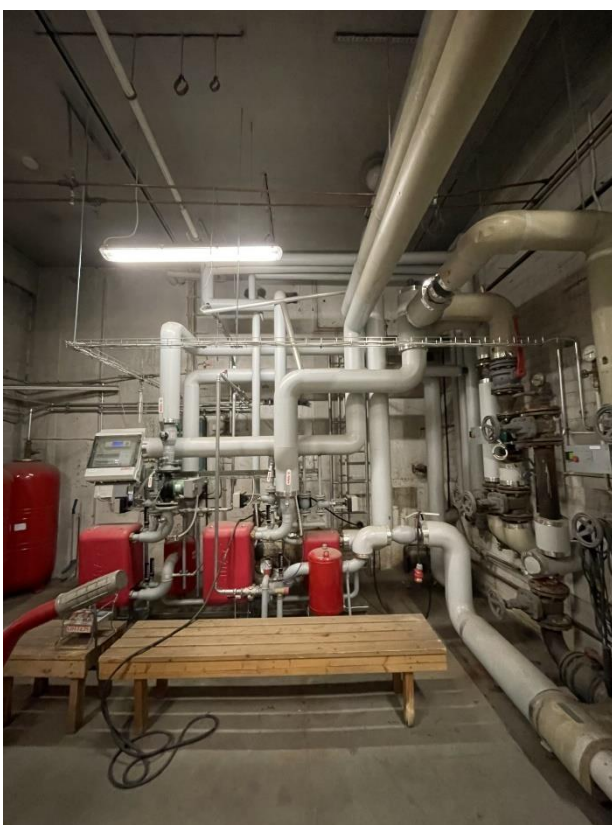
<b>Rakennustilavuus (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porraskäytävät (lkm.)</b>	<b>Kerrokset (lkm.)</b>	<b>Asunnot (lkm.)</b>	<b>Liike-/ja muut huoneistot (lkm.)</b>	<b>Huoneistopinta-ala (m<sup>2</sup>)</b>
16 755	3	8	46	11	7 112,5

Kohteelle suoritettiin koneellisen poistoilmajärjestelmän puhdistus vuonna 2020. Puhdistuksessa tehtiin koneellinen harjaus sekä pesu ja korvausilma suodattimet vaihdettiin. Puhdistuksen jälkeen kiinteistön huoneistojen ilmamäärät mitattiin. Ilmamäärämittauksessa poistoilman ilmvirtanopeus

mitattiin olevan 1 797 l/s. Poistoilman ulosohjausta varten kohde on varustettu kahdella huippuimurilla, jotka sijaitsevat rakennuksen katolla. Huippuimureista toinen on esitetty kuvassa 1. Lämmönjakohuone sijaitsee kohteen kellarikerroksessa, joka näkyy kuvassa 2. Lämmönjakohuoneen paisuntasäiliöt näkyvät kuvassa 3.



*Kuva 1. Kohteen katolla sijaitseva poistopuhallin.*



*Kuva 2. Lämmönjakuhuone*



*Kuva 3. Paisuntasäiliöt*

## 2.1 Kohteen kulutustiedot

Taulukosta nro 2 voidaan havainnoida, että kohteen kaikki toteutuneet kulutukset ovat pienentyneet vuoden 2018 jälkeen. Vuosien 2021 ja 2022 välillä ero kulutuksissa ei ole yhtä merkittävää kuin vuonna 2018. Suurin ero kulutusten välillä vuodesta 2018 vuoteen 2022 on vedenkulutus, joka on vähentynyt 7 016 m<sup>3</sup>:sta 3 281 m<sup>3</sup>:iin, joka on noin 47 % vähemmän. Kaukolämmön ja sähkön kulutukset ovat pysyneet vuosien aikana suurimmaksi osaksi tasaisina ilman suurempia muutoksia.

Taulukko 2. Kohteen kulutustiedot 2018–2022

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Vedenkulutus (m<sup>3</sup>/a)</b>	7 016	4 773	3 941	2 849	3 281
<b>Kaukolämpö (MWh/a)</b>	894	788	720	876	788
<b>Sähkö (MWh/a)</b>	346	346	318	282	293

Normeeraamalla kohteen toteutuneet kulutukset voidaan verrata kyseisen kohteen energian kulutusta eri ajankohtina. Normitus on hyvä keino seurata kulutuksia, koska normitettu kulutus on vertailukelpoinen riippumatta rakennuksen sijainnista tai eri kuukausien ja vuosien lämpötilaeroista. Laskennassa pitää kuitenkin ottaa huomioon eri paikkakuntien korjauskertoimet rakennusten kulutuksiin. (Motiva, 2023)

Normeerattu kulutus lasketaan kaavalla 1

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

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{toteutunut}$  = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{lämmin\ käyttövesi}$  = käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia

$S_{N\ vpkunta}$  = normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$  = toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Rakennuksen toteutuneen lämmittämisen kuluvan energian laskemisessa on otettava huomioon, että käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on poistettava kokonaislämmityksen kulutuksesta. Lämpimän käyttöveden energiankulutusarvona voidaan käyttää 58 kWh/m<sup>3</sup>, mikäli kulutusta ei ole mitattu erikseen. (Motiva, 2023)

Tämä voidaan laskea kaavalla

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (2)$$

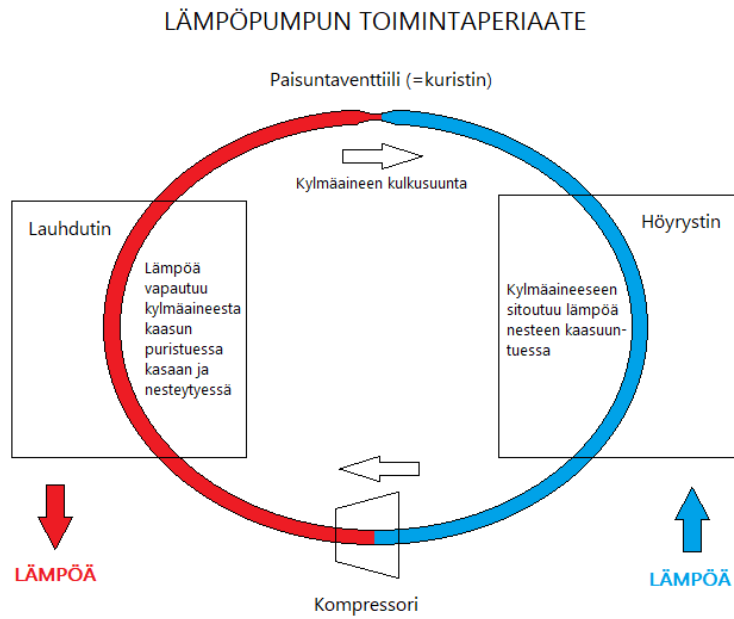
## 3 Lämpöpumput

Lämpöpumppu on laite, jolla voidaan siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä tilasta lämpimämpään. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen suljettuun kiertoon. Lämpöpumpputyyppejä on erilaisia ja niiden toiminta riippuu lämmönlähteestä sekä siitä, miten ja minne lämpöä jaetaan.

Lämpöpumpputyypit ovat ilmalämpöpumppu, maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu sekä poistoilmalämpöpumppu. (1, Kylmäextra, 2021)

### 3.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpussa on kaksi lämmönsiirrintä, jotka ovat höyrystin ja lauhdutin. Suljettuun piiriin kuuluvat myös kompressori ja paisuntaventtiili. Höyrystimessä lämpöä siirtyy lämmönkeruupiiristä kylmäaineeseen. Lämpö kiehuuttaa kylmäainetta ja sen höyrystyminen kasvaa, mitä pidemmällä höyrystimen putkikierron ollaan. Kylmäaine höyrystyy, kun höyrystimessä hallitseva lämpötila ylittää kylmäaineen kiehumispisteen. Höyrystimestä kylmäaine etenee höyrynä kompressoriin. Kompressorissa kylmäainehöyry puristetaan korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Tämä lisää kylmäaineen lämpenemistä entisestään. Lauhduttimessa lämpö siirtyy kylmäaineesta lämmitysjärjestelmään ja seurauksena kylmäaine lauhtuu takaisin nesteeksi vakioaineessa. Lauhduttimesta kylmäaine siirtyy paisuntaventtiiliin, jossa tapahtuu painehäviö kylmäainevirtaukseen. Tämä annostelee oikean määrän kylmäainetta uudestaan kohti höyrystintä. Paisuntalaitteen tehtävänä on säädellä höyrystimelle syötettävää nesteytynyttä kylmäainetta, jotta kompressorin imuun päätyy täysin höyrystynyttä eli kylläistä kylmäainetta. (Kylmäextra, 2021) Lämpöpumpun toimintaprosessi havainnollistettuna alapuolella kuvassa 4.



*Kuva 4. Lämpöpumpun toimintaperiaate*

### 3.2 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu nimensä mukaisesti käyttää lämmönlähteenä poistoilmaa. Asunnoista koneellisen ilmanvaihdon kautta poistuva ilma on lämmintä, ja siitä voidaan ottaa lämpöä talteen. Kerrostaloissa poistoilman mukana poistuu jopa 25–35 % lämmitysenergiaa. Talteen otettua lämpöä voidaan hyödyntää rakennuksen tilojen lämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen. Poistoilmalämpöpumppu ei voi toimia yksin koko kiinteistön lämmitykseen vaan tarvitsee isoimmassa kohteissa rinnalleen toisen lämmöntuottojärjestelmän, joka yleisimmässä tapauksissa kerrostaloissa on kaukolämpö. Toinen lämmöntuottojärjestelmä tarvitaan, koska poistoilmalämpöpumppu ei yksin kykene tuottamaan koko rakennuksen lämmöntarvetta vuositasona. Poistoilmalämpöpumppu-järjestelmän hankinnassa on ensin katsottava kohteen teknistä soveltuvuutta. Teknisesti soveltuva rakennus pitää sisällään koneellisen ilmanvaihdon, vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän, lämpöpumppujärjestelmälle sopivat lämmitys- ja patteriverkoston lämpötilatasot kovimmilla pakkasilla. Soveltuva rakennuksen

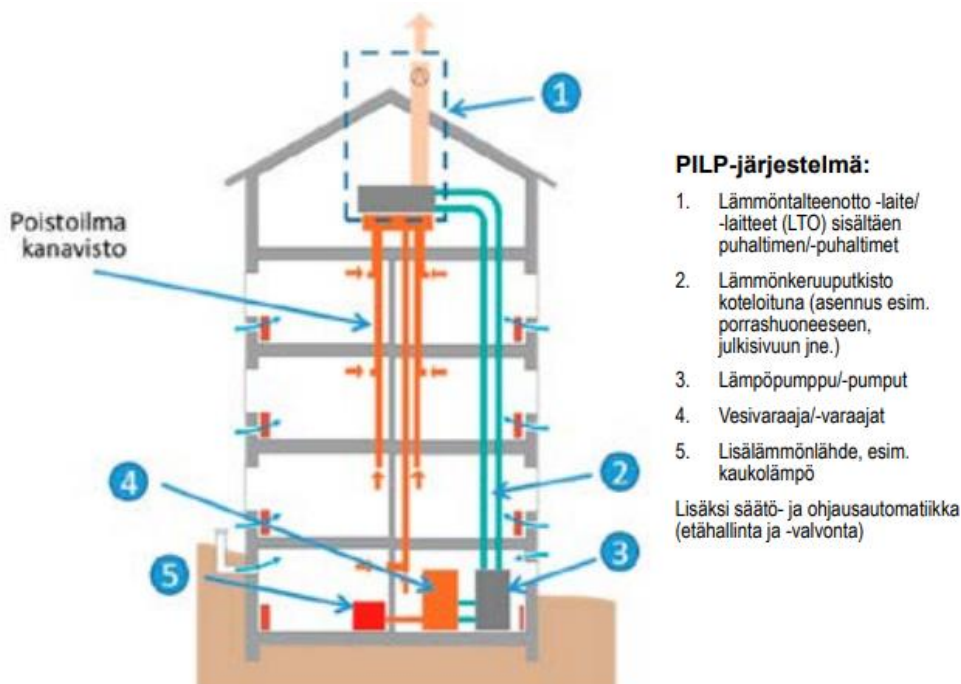
tulisi myös olla vähintään kolmikerroksinen ja kohteessa olisi hyvä olla noin 15–25 asuntoa. Nämä asiat on otettava huomioon myös taloudellisen järkevyyden kannalta. Tämän takia kohteissa oleva koneellinen ilmanvaihto on olennainen järjestelmän asentamista varten, koska huippuimurin kautta poistuu paljon lämmitysenergiaa. PILP-järjestelmän on mahdollista vähentää kaukolämmönkulutusta jopa 50 % megawattitunneissa laskettuna, kun järjestelmä on hyvin toteutettu. Hyvin suunnitellulla järjestelmällä saadaan alennettua myös lämmityksen huipputehon tarvetta. [Kiinteistöliitto, n.d]

Suomessa poistoilmalämpöpumppujärjestelmien asentaminen erityisesti saneerauskohteisiin on yleistymässä. Järjestelmän asentamista varten parhaiten soveltuvat kohteet ovatkin 1960–1990 välillä rakennettuja asuinkerrostaloja, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Näillä kohteilla on suurin potentiaali energiataloudelliseen parannukseen poistoilmanlämmöntalteenotolla. [Ympäristöministeriö, 2015]

### 3.3 Lämmöntalteenotto

Poistoilman lämmöntalteenotto alkaa rakennuksen katolta, jonne asennetaan lämmöntalteenottolaite. LTO-yksikkö sijoitetaan entisen huippuimurin paikalle, josta lämmin sisäilma on ennen virrannut suoraan ulos. Nyt LTO-yksikön läpi virtaava lämmin sisäilma kulkee lämmönvaihtimen läpi ja luovuttaa lämpöä lämmönvaihtimessa kiertävään lämmönkeruunesteeseen. Lämpöä kerännyt neste kulkeutuu lämmönkeruulinjaapitkin lämmönjakohuoneessa sijaitsevaan lämpöpumppuun. Lämmönkeruulinjan sijainti riippuu kohteen rakenteista. Yleensä keruulinja asennetaan rakennuksen julkisivulle, mutta joissain tapauksissa lämmönkeruulinjan saa asennettua talon läpi esimerkiksi porrashuoneeseen. Lämpöpumpulle saapunut lämmönkeruuneste siirtää poistoilmasta talteen saadun lämmön eteenpäin lämpöpumpulle. Lämpöpumppu puolestaan syöttää saadun lämmön rakennuksen lämmönjakoverkkoon ja käyttövesivaraajaan. Näin kaukolämpöä tai muusta lämmönlähteestä käytettävää lämmitysenergiaa saadaan pienennettyä. (Tom Allen Senera, n.d)





Kuva 1. PILP-ratkaisun periaatekuva (Taloyhtiön energiakirja, 2011)

Kuva 5. Poistoilmalämpöpumpujärjestelmä kerrostalossa

### 3.3.1 Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto

Rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa meno – ja poistupuolen väliaineet virtaavat erillisissä kierroissa. Lämmönsiirron väliaineena toimii ilma tai vesi. Väliaine virtaa vuorottain levynlämmönvaihtimien levyjen läpi, minkä myötä lämpö siirtyy erillisten kiertojen välillä. Erillinen kierto mahdollistaa lämmönsiirron hygieenisesti ja lähes kokonaan ilman kunnossapitotarvetta. (Valliant, n.d)

### 3.3.2 Regeneratiivinen lämmön talteenotto

Regeneratiivisessa lämmöntalteenotossa siirtyvä lämpö varataan varaajaan. Regeneratiivisesta lämmöntalteenotosta yleinen esimerkki on pyörivä lämmönsiirrin. Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämpöä sitovan aineen energia siirretään tuloväliaineeseen. Tämän vuoksi, regeneratiivinen

lämmöntalteenotto ei ole yhtä hygieeninen tapa verrattuna rekuperatiiviseen lämmöntalteenottoon. Renegeratiivinen lämmöntalteenotto vaatii myös enemmän kunnossapitoa. (Vallaint, n.d)

### 3.4 Mitoitus

Poistoilmalämpöpumpun mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon, että lämpöpumpulla ei pyritä kattamaan kaikkea rakennuksen lämmitysenergiantarvetta. Tämä johtuu siitä, että poistoilmasta saatava lämpöenergia ei ole riittävä kattamaan kokonaisen asuinkerrostalon vaatimaa tehontarvetta, kun mitoitus tapahtuu täysin ilmanvaihdon ehdoilla. Poistoilmalämpöpumpulla kuitenkin saa lämpöä tasaisella teholla ympäri vuoden, jos ilmanvaihdon ilmamäärät pysyvät tasaisina eikä poistoilmanvaihto ole aikaohjattu. (3 HSY, n.d)

Poistoilman lämmöntalteenoton kapasiteettia voidaan laskea kaavalla (4 Sandberg, 2014)

$$f = qv * cp * r * Dt \quad (3)$$

Jossa;

$f$  = Teho, kW

$qv$  = Poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$cp$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$r$  = Ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$Dt$  = Ilman lämpötilaero, °C

$$f = 1,79 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ}/\text{kgK} * 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 * (21-4) \text{ C}$$

$$f = 36,5 \text{ kW}$$

Kun teho kerrotaan vuoden tunneilla, saadaan vuosittainen energiamäärä

$$36,5 \text{ kW} * 8760 \text{ h/vuosi} = 319\,880 \text{ kWh/vuosi} = 320 \text{ MWh/vuosi}$$

Poistoilmalämpöpumpulla saadaan energiaa vuositasolla hyödyksi noin 60–70 %. (3) Joten, kun kerrotaan 320 MWh/vuosi arvolla 0,65, saadaan 208 MWh lämpöenergiaa talteen otettavaksi poistoilmasta.

Taulukosta nro 3 havainnoimme, että kokonaisuudessaan kaukolämmön energiakulutus viiden vuoden aikana on ollut suhteellisen tasaista ja kulutuksen vuosittainen keskiarvo on n. 815 MWh/vuosi. Energiankulutus jakautuu suurimmaksi osaksi kesä – ja heinäkuun ulkopuolelle, jolloin rakennusten lämmitystehontarve on suurempi. Turun alueella lämmitystehontarve kesä – ja heinäkuun aikana on 0. (Ilmatieteenlaitos, n.d)

*Taulukko 3. Kohteen kulutustiedot kaukolämpö ja sähkö*

Kulutustiedot	2022	2021	2020	2019	2018
<b>Kaukolämpö, MWh</b>	788	876	720	788	894
<b>Sähkö, MWh</b>	293	282	318	346	346

Tarkasteltaessa viimeisemmän vuoden kulutuslukemaa 788 MWh, voidaan todeta, että poistoilmalämpöpumpulla saataisiin merkittävä vuosisäästö kaukolämmön kulutukseen. Poistoilmalämpöpumpun avulla kulutus laskisi prosentuaalisesti 26 %.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asennuksen myötä kohteen vuosittainen sähkönkulutus tulisi nousemaan nykyisestä 293 kWh, koska lämpöpumppujärjestelmälaitteisto kuluttaa sähköä enemmän kuin kaukolämpöjärjestelmä.

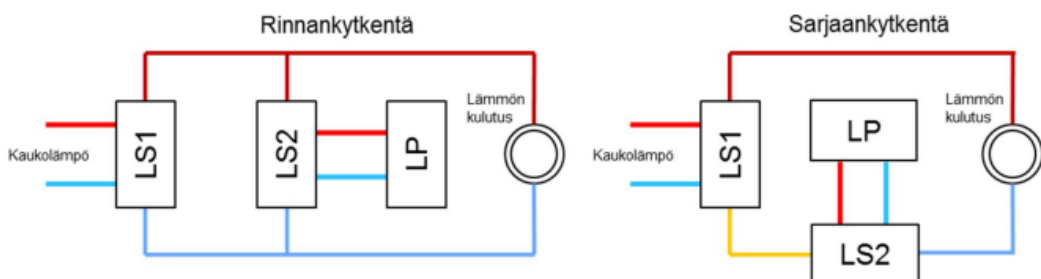
AHUIQ ohjelmistolla simuloitiin kohteelle ilmanvaihdon patteri. Patteritehoksi saatiin 1,79 m<sup>3</sup>/s poistoilmamäärällä 25 kW.

### 3.5 Kytentätavat

Poistoilmalämpöpumpun kytkentätapaan kaukolämpöjärjestelmässä on merkitystä. Kytkentätapa vaikuttaa kaukolämmön paluulämpötilaan sekä lämpöpumpun tehokkuuteen ja lämpökeskuksen yleiseen toimintaan. (Ympäristöministeriö, 2015) Kytkentävaihtoehdoille on kaksi päätyyppiä; rinnankytkentä ja sarjaankytkentä. Kytkentätavat ovat esitetty kuvassa 6.

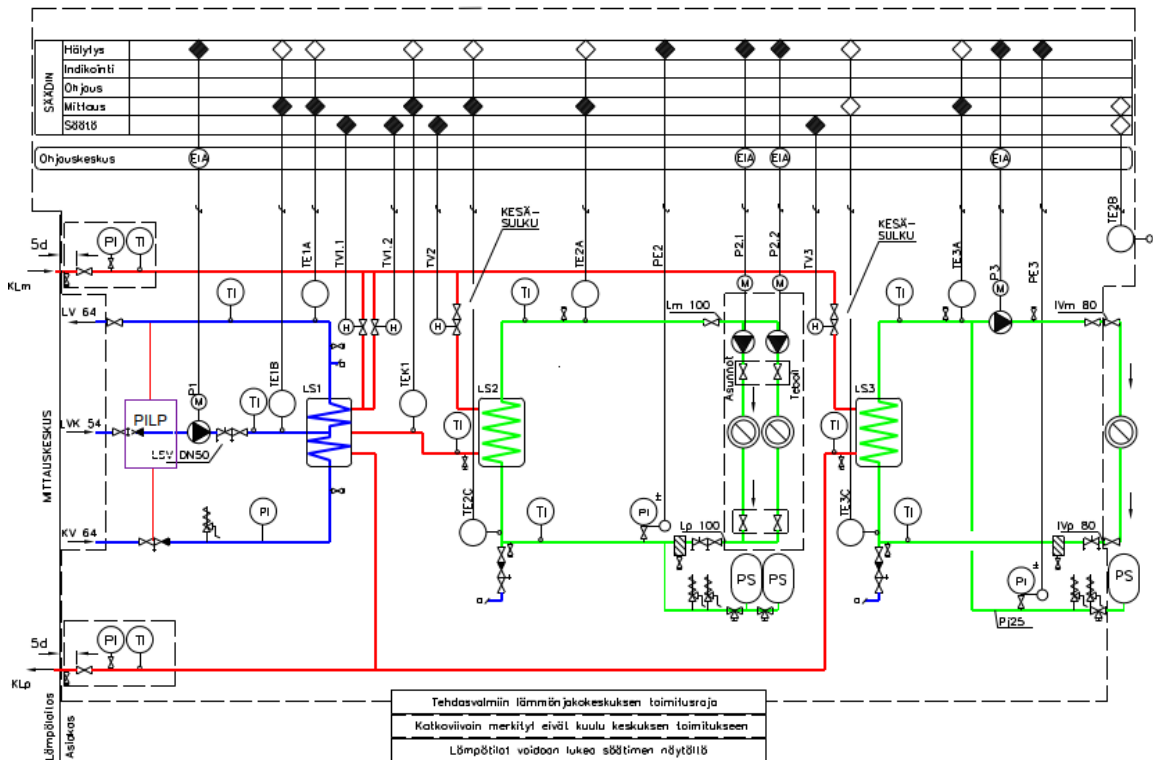
PILP:in kannalta sarjaankytkentä olisi kytkentävaihtoehdoista tehokkain. Tämä johtuu siitä, että sarjaankytkennällä kaukolämmön kanssa saataisiin lämpöenergian siirtymiselle lämpötilatasosta toiseen mahdollisimman pieni lämpötilaero. Pienen lämpötilaeron avulla lämpöenergia siirtyy kaikista tehokkaimmin ja PILP:istä saadaan suurin hyöty. (Ympäristöministeriö, 2015) Sarjaankytkennän haasteena on kuitenkin se, että pieni lämpötilaero eri lämpötasojen välillä tarkoittaa myös kaukolämmön paluulämpötilan nousua, koska paluuvesi lämmitetään. K1/2021 Rakennusten kaukolämmitys – julkaisun mukaan, hybridikytkentöjä varten on määräyksiä, jotta ne eivät vaikuta heikentävästi kaukolämpöveden jäähtyvyyteen tai asiakkaan lämmityksen toimintavarmuuteen ja tätä myöten aiheuta ongelmia kaukolämpöverkossa. (Lahti Energia, n.d) (Energiateollisuus K1/2021, 2021)

Rinnankytkennässä PILP ja kaukolämpö PILP kytketään kaukolämmön kanssa rinnankytkennällä, jolloin lämmitysverkon paluuvettä ei lämmitetä ennen kuin se siirtyy kaukolämpösiirtimille. Näin paluuvesi pysyy tarpeeksi viileänä, jotta sen voi palautta kaukolämpöverkkoon.



Kuva 6. Kytkentätavat

Kohteessa on kolme lämmönsiirintä, jotka palvelevat tilalämmitystä ja käyttöveden lämmitystä. PILP saadaan kohteessa kytkettyä rinnankytkennällä kaukolämmön kanssa. Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty esimerkki kytkentätapa kohteessa, millä kaukolämpöverkon tuloverkkoon siirtyy poistoilmalämpöpumpun tuottamaa lämpöä.



Kuva 7. Kytkenä kohteessa

### 3.6 PILP-järjestelmän sijoitus kohteessa

PILP-järjestelmän asentamista varten tarvitaan lämmönjakuhuone, joka on tarpeeksi tilava, jotta tarvittavat laitteet ja lämmönkeruupiirin putkisto saadaan mahtumaan kaukolämpöjärjestelmän rinnalle. Laitteiden sijoittamisen vaatii huolellista suunnittelua. Tekniseen tilaan, johon PILP sijoitetaan, on oltava lattiakaivo ja kaadot sekä hyvä sijainti läpivientejä varten. On myös tärkeää, että PILP:n ohjauksyksikkö on näkyvillä, koska se ilmoittaa mahdollisista häiriöistä ja

huoltotarpeista. Kokonaisuudessaan PILP-järjestelmä ei välttämättä vaadi kovin paljoa neliöitä, sillä PILP voidaan asentaa esimerkiksi kodinhoitohuoneeseenkin. (Etuovi, 2017) Kohteessa oleva lämmönjakohuone on esitelty kappaleessa 2. PILP-järjestelmä mahtuu tilaan hyvin, mutta mikäli järjestelmän asentaminen vaatii enemmän tilaa, on kohteen lämmönjakohuoneesta mahdollista siirtää paisuntasäiliöt seinän toiselle puolelle varastotilaan, joka ei ole tällä hetkellä käytössä. Kohteessa lämmönjakohuone on teknisesti hyvin sijoitettu lämmönkeruupiirin putkistoa varten. Pohjapiirustuksista voi nähdä lämmönjakohuoneesta lähtevän piippu, joka kulkee kaikkien kerroksien läpi katolle asti. Piippu on ollut pois käytöstä, mutta sopisi hyvin lämmönkeruupiirin putkiston asentamista varten.

## 4 Jäähdytystehontarve

Suomessa asuinkerrostalojen jäähdytys ei ole ollut yhtä yleistä, kuten toimistojen – ja liikerakennusten jäähdyttäminen. Tämä on johtunut toimisto – ja liikerakennusten korkeammista lämpökuormista. Nykyään kuitenkin on asuinkerrostalojenkin jäähdytys alkanut yleistymään johtuen pitkistä hellejaksoista kesäisin ja myös jäähdytysjärjestelmien tekniikan kehittymisen myötä. Asuinrakennusten jäähdytysjärjestelminä voidaan käyttää mm. kaukojäähdytystä, vedenjäähdytyskonetta, lattiaviilennystä, tuloilman jäähdytystä, jäähdytyspalkkeja tai puhallinkonvektoreita. (Kerttula, 2019)

### 4.1 Jäähdytystehontarpeen määräykset Suomessa

Suomen rakentamismääräyskokoelman, D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, mukaan määrätään uudisrakennuksissa kesäajan huonelämpötiloille vaatimuksia. Kesäajaksi luetaan 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välinen aika. Tämän ajan välillä huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa enemmän kuin 150 astetuntia. Jäähdytysrajan arvo määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Asuinkerrostaloilla jäähdytysraja on 27,0 °C, taulukon 1 mukaan. Jotta huonelämpötilojen vaatimuksenmukaisuus voidaan kesäaikana osoittaa, on rakennukselle tehtävä dynaaminen lämpötilalaskenta eri tilatyyppeiden mukaan. Lämpötilalaskennat tehdään tilatyypeille, joihin kohdistuu eniten lämpökuormia. Lämpökuormat voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin. Sisäiset lämpökuormat rakennuksessa johtuvat kuluttajalaitteista, valaistuksesta sekä ihmisistä. Lämpötilalaskennassa sisäisille lämpökuormille on standardiarvot rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan (taulukko 2). Ulkoiset lämpökuormat ovat rakennuksen ulkovaipan ja ikkunoiden kautta tulevia kuormia. Niihin lukeutuvat aurinko, tuuli, ulkolämpötila sekä rakennuksen sijainti ja ominaisuudet. Tämä tarkoittaa, että asuinrakennusten lämpötilalaskennassa usein eniten lämpökuormia kohdistuu tilatyyppeihin, joissa on suuret lasipinnat tai ne suuntautuvat julkisivuiltaan

etelään tai länteen. Näillä tiloilla on suurin riski yllämpenemiselle.  
(Ympäristöministeriö, 2012)

Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus – osan lisäksi, myös D2 (2012) Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto asettaa vaatimuksia kesäajan huonelämpötiloille. Nämä vaatimukset perustuvat rakennuksen suunnitteluvaiheessa arvioituun käyttöön ja tilakohtaiseen lämpöviihtyvyyteen. (Ympäristöministeriö, 2012)

#### 4.2 Kesäajan huonelämpötilojen alentaminen kohteessa

Poistoilmalämpöpumpulla on mahdollista jäähdyttää kesäaikaan. Vaihtoehtoina ovat passiivinen viilennys tai aktiivinen jäähdytys. Passiivisessa viilennyksessä poistopuhaltimet kytketään tehostukselle, kun ohjausjärjestelmä huomaa sisälämpötilan olevan korkeampi kuin ulkolämpötilan. Aktiivisessa jäähdytyksessä lämpöpumppujärjestelmän tuottamaa kylmää voidaan käyttää jäähdytykseen. Aktiivinen jäähdytys vaatii kuitenkin enemmän suunnittelua, sillä lämmönjakohuoneeseen on lisättävä tekniikkaa ja kohteeseen asennettava jäähdytysverkosto. Aktiivisessa jäähdytyksessä käyttövesi lämpenee samalla. (Talotekniikkainfo, n.d)

Jäähdytysjärjestelmien mitoittamiseksi voidaan jäähdytystehontarpeena käyttää arvoa 30 W/m<sup>2</sup> (RT-kortti, 2007). Näin ollen voidaan laskea suuntaa antava jäähdytystehontarve As Oy kohteen ylimmissä kerroksissa oleville asunnoille. Esimerkkiasuntona toimii etelään päin suuntautuva 2H+keittiö, joka on kooltaan 56,5 m<sup>2</sup>. Tämän mukaan asunnon jäähdytystehontarpeeksi tulisi 1 695 W.



## 5 Jäteveden lämmöntalteenotto

Yksi ylijäämälämmön eli hukkalämmön muodoista on jäteveden mukana poistuva lämpöenergia. Jätevedestä talteen saatava energiamäärä on merkittävä, varsinkin kiinteistöissä, joissa vedenkulutus on säännöllistä ja vettä kulutetaan suuria määriä. Viemäriin päätyneen veden lämpötila on keskimäärin jopa +30 astetta, joten lämmöntalteenotto on kiinteistölle hyödyllistä. (Tom Allen Senera, n.d)

Suomalaiset käyttävät päivässä noin 155 litraa vettä, josta noin 40 % on lämmintä käyttövettä ja kokonaisenergian kulutuksesta noin viidennes valuu viemäriin. Tulevaisuuden energiatehokkuusdirektiivin myötä käyttöveden sisältämän energian osuus tulee olemaan yli 50 %. Jäteveden hukkalämmön talteenotto on siten tehokas tapa pienentää kiinteistön energiankulutusta. (Wasenco, n.d)

Asunokohteiden jäteveden lämmöntalteenoton energiatehokkuuspotentiaalin selvittämistä varten on kohteesta kartoitettava muutamia asioita. Kiinteistöistä on ensin kartoitettava kohteen vuotuinen vedenkulutus. Vuotuisella vedenkulutuksella saadaan laskelmiin suunta, minkä verran energiapotentiaalia jätevedessä on hyödynnettäväksi. Toinen selvitettävä asia on, miten kiinteistössä on toteutettu viemäröinti. Toisin sanoen siis, kuinka helpolla jätevedeen päästään ”kiinni”. Joissakin kiinteistöissä putket ovat hyvin näkyvillä ja päätyvät yhteen kokoojaviemäriin, missä lämmöntalteenotto on helppo toteuttaa. Toisissa kiinteistöissä taas, putket menevät piilossa ja kokoojaviemäri sijaitsee pohjalaatan alla tai muuten haasteellisessa paikassa. Usein saneerauskohteet ovat tästä syystä haastavia. (Leppänen, 2023)

Haastavuutta energiatehokkuuspotentiaalin selvittämiseen asunokohteissa tuo myös se, että lämpimän jäteveden määrässä on eroavaisuuksia asuinkiinteistöjen kuin myös asuntojen välillä. Lämmintä jätevettä ei synny yhtä suuria määriä säännöllisesti kuin suuremmissa kohteissa, kuten teollisuudessa, sairaaloissa ja kylpylöissä. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmien tekniikkaa on kuitenkin kehitetty myös asuinrakennuksiin sopivammaksi.

Jäteveden energiamäärän voi laskea kaavan 4 mukaisesti (Innoair, n.d)

$$E = m * C * \Delta T \quad (4)$$

$m$  = jäteveden määrä (kg)

$C$  = veden ominaislämpökapasiteetti 4,186 kJ/(K·kg)

$\Delta T$  = lämmitetyn veden lämpötilaero (K)

### 5.1 Soveltaminen kohteeseen

Kuten aikaisemmin todettiin, lämpimän jäteveden käyttöosuus kiinteistön jätevedestä on noin 40 % ja keskimääräisesti suomalainen kuluttaa 155 litraa vettä päivässä. Energiamäärän hukka voidaan näiden tietojen pohjalta laskea kaavalla 5

$$\text{henkilömäärä} * 155 \text{ l} \frac{\text{hlö}}{\text{vrk}} * 365 \text{ vrk} * 0,4 = 3\,281 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \quad (5)$$

Kun vuosittainen jäteveden määrä kerrotaan yhden vesikuution lämmittämiseen tarvittavalla energiamäärällä, 58 kWh/m<sup>3</sup> (Energianeuvonta, 2021), saadaan lämpimän jäteveden energiankulutus

$$3\,281 \text{ m}^3 \cdot 58 \text{ kWh/m}^3 = 190\,298 \text{ kWh/vuosi} = 190 \text{ MWh/vuosi}$$

Jätevedestä saatava energian määrä vuodessa saadaan kaavalla 6

$$Q = \frac{1\,000 \text{ kg m}^3 * 4,2 \text{ kJ kg}^\circ\text{C} * 3\,281 * (20^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{3\,600} = 38\,278 \text{ kWh} = 38 \text{ MWh} \quad (6)$$

Kun jätevedestä saatava vuosittainen energian määrä kerrotaan lämpöpumpun lämpökertoimella ja kaukolämmön hinnalla, saadaan vuosittainen säästöpotentiaali €/vuosi. Kaukolämmön hinta perustuu Turku Energian syksyn 2023 energiamaksuun €/MWh. (Turku energia, 2023)

$$\frac{\text{€}}{\text{v}} = Q * \text{COP} * \text{kaukolämmön hinta} \left( \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) \quad (7)$$

$Q$  = jätevedestä saatava energia (MWh)

$\text{COP}$  = lämpöpumpun lämpökerroin (oletettu)

Kaukolämmön hinta = 88,56 € /MWh

$$\frac{\text{€}}{\text{v}} = 38 \text{ MWh} * 5,0 * 88,56 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 16\,826 \text{ €} \quad (8)$$

Koska kohteessa hule – ja jätevedet menevät samaa reittiä kaupungin kokoomaviemäriin, on todennäköistä, että paikka LTO-laitteistolle löytyy kohtuu helposti. LTO-laitteisto voitaisiin sijoittaa mm. parkkihalliin tai pyöräsuojan takaosaan.

## 6 Maalämpö

### 6.1 Maalämpö Suomessa

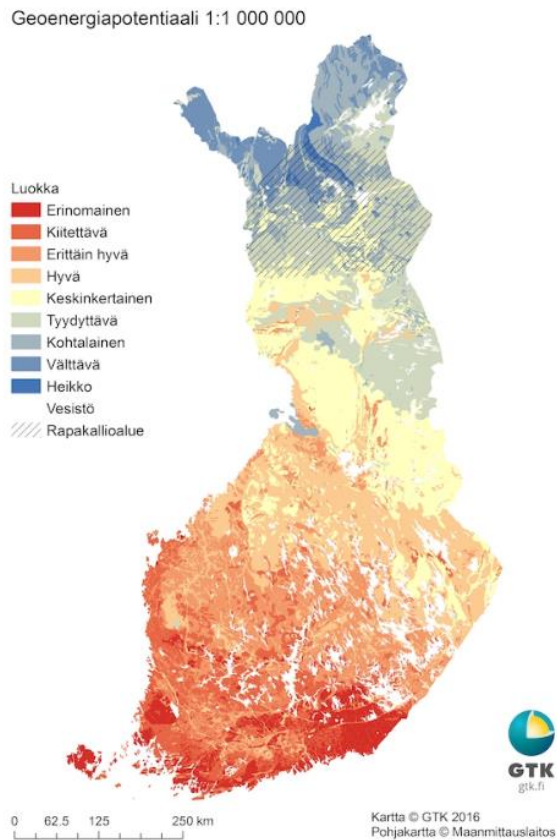
Maalämpö on kasvattanut suosiotaan viimeisen 20 vuoden aikana uusiutuvana energiana. Porausteknologian kehitys ja maalämpöjärjestelmän tuomat säästöt lämmityskustannuksissa ovat vauhdittaneet nousua niin omakotitalojen kuin suurempienkin kiinteistöjen lämmitystapana. (Geologian tutkimuskeskus, 2021)

Suomessa maalämmön kannattavuus vaihtelee suurestikin etelän ja pohjoisen välillä, mikä johtuu pääosin lämpötilaeroista maaperässä. Maalämmön potentiaalin kuvaamista varten on tehty geoenergiapotentiaalikartta (kuva 8). Potentiaalikartta perustuu kolmeen eri tekijään: kivilajin lämmönjohtavuuteen, maapeitteen paksuuteen ja maapinnan keskilämpötilaan. (Geoenergiakeskus, n.d) Potentiaalia kuvataan kartassa sanallisesti välillä erinomainen ja heikko. Kartan perusteella voidaan tulkita, että Suomessa kannattavimmat maalämpöinvestoinnit sijoittuvat eteläiselle rannikkoseudulle. Etelä-Suomessa kallioperän lämpötilan arvo on yleensä noin 7–9 astetta ja Pohjoissuomessa noin 4–5 astetta. Tällä on suuri merkitys maalämmön kannattavuudessa. (Lapon, n.d)

Suomessa maalämpökaivojen poraamista rajoittaa pohjavesialueet. Lämpökaivojen poraaminen voi aiheuttaa pohjaveden pilaantumista tai sen vaaraa. Vaikutukset kohdistuvat ensin kalliopohjaveteen, minkä kautta ne leviävät myös maaperänpohjaveteen. Poraaminen voi tehdä muutoksia pohjaveden virtausolosuhteisiin ja veden sekoittumiseen eri pohjavesikerroksissa. Suuntaa antavaksi nyökkisäännöksi on Ympäristöministeriön laatimassa energiakaivojen oppaassa määritetty 500 m etäisyys pohjaveden vedenottamon ja energiakaivon välille.

Kallioperästä kerätty lämpö voidaan maalämpöpumpun avulla siirtää talon lämmitysjärjestelmään ja käyttöveteen. Kallioperän lämmönkeruuputkistossa kiertävä lämmönkeruuneste lämpenee 1–4 asteiseksi. Lämmönkeruupiiri on

putkisto, jossa maalämpöpumppu kierrättää lämmönkeruunestettä.  
 Keruuputkistoa varten porataan yleensä noin 100–300 metriä syvä lämpökaivo.  
 (Ympäristöopas, 2013)



*Kuva 8. Geopotentialikartta*

## 6.2 Maalämpöhankkeen eteneminen As Oy – yhtiöissä

Taloyhtiössä maalämpöhanke jakautuu viiteen vaiheeseen. Ensimmäisenä vaiheena on hankesuunnittelu, jossa suunnittelija tekee kiinteistölle tarvittavat selvitykset maalämpöjärjestelmää varten. Suunnittelija kartoittaa vaihtoehdot ja tekee myös maalämpöjärjestelmää koskevat riskianalysit. Taloyhtiön hyväksymän hankesuunnitelman jälkeen, toteutetaan hankkeen suunnittelu ja töiden valmistelu, johon palkataan projektipäällikkö. Projektipäällikkö kartoittaa järjestelmätoimittajat ja tekee tarjouspyynnöt, joista hän valmistelee valmiit päätökset taloyhtiölle. Lisäksi projektipäällikön tehtävänä on ohjata suunnittelua sekä koordinoida hankkeen etenemistä työn toteutuksen aikana. Lopuksi taloyhtiö vastaanottaa valmiin työn ja hanke jatkuu jälkiseurannalla.

(Urakkamaailma, nd)

Onnistuneen hankkeen kannalta on siis taloyhtiön suositeltavaa panostaa asiantuntijoiden palkkaamisessa. Maalämpöjärjestelmän hanke on laaja projekti, jossa tulee ottaa huomioon monia asioita liittyen kiinteistön taloteknillisiin ominaisuuksiin, lämpökaivoihin ja tontin maaperään. Lisäksi hanke vaatii myös taloudellista, juridista ja viestinnällistä osaamista.

(Urakkamaailma, n.d)

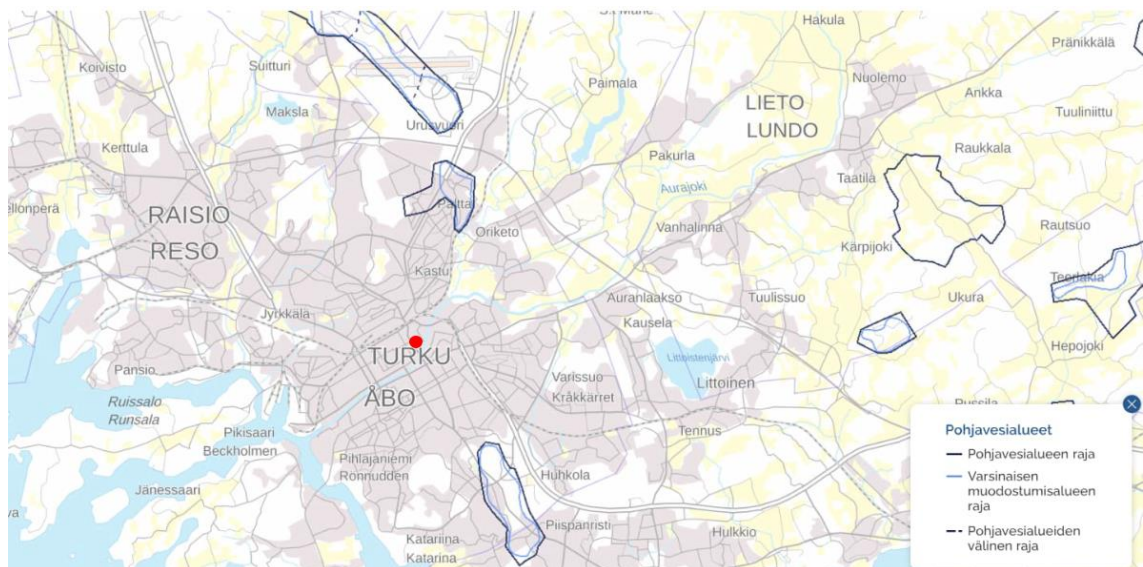
Maalämpökaivon poraamista varten on selvitettävä maa- ja kallioperän ominaisuudet. Esimerkiksi kohteen kivilaji ja kivilajin lämmönsiirto ja lämpökapasiteetti. Nämä ovat lukuja, jotka vaihtelevat Suomessa paljon, jopa kaupunkien sisällä. Graniitin keskimääräinen lämmönjohtavuus on noin 3,4 W/mK, kun taas kiilleliuskeen lämmönjohtavuus on 2,0 W/mK.

Lämmönjohtavuuksien selvittämistä varten on kehitetty TRT-mittausmenetelmä. TRT-mittauksessa mitataan maaperän ja porareian termisiä ominaisuuksia, kuten kallioperän keskilämpötilaa ja tehollista lämmönjohtavuutta. Mittaustapaa käytetään, kun kohteeseen on tarkoituksena porata enemmän kuin kymmenen porareikää, koska lämmönjohtavuus vaikuttaa tarvittavien porareikien määrään ja syvyyteen, joten isommissa kohteissa on hyvä tarkistaa termiset

ominaisuudet. (Ympäristöopas, 2013) Tässä työssä laskennassa käytetty keskiarvo kallioperän lämmönjohtavuudelle on 3 W/mK.

### 6.3 Lämpökaivojen sijoittaminen kohteessa

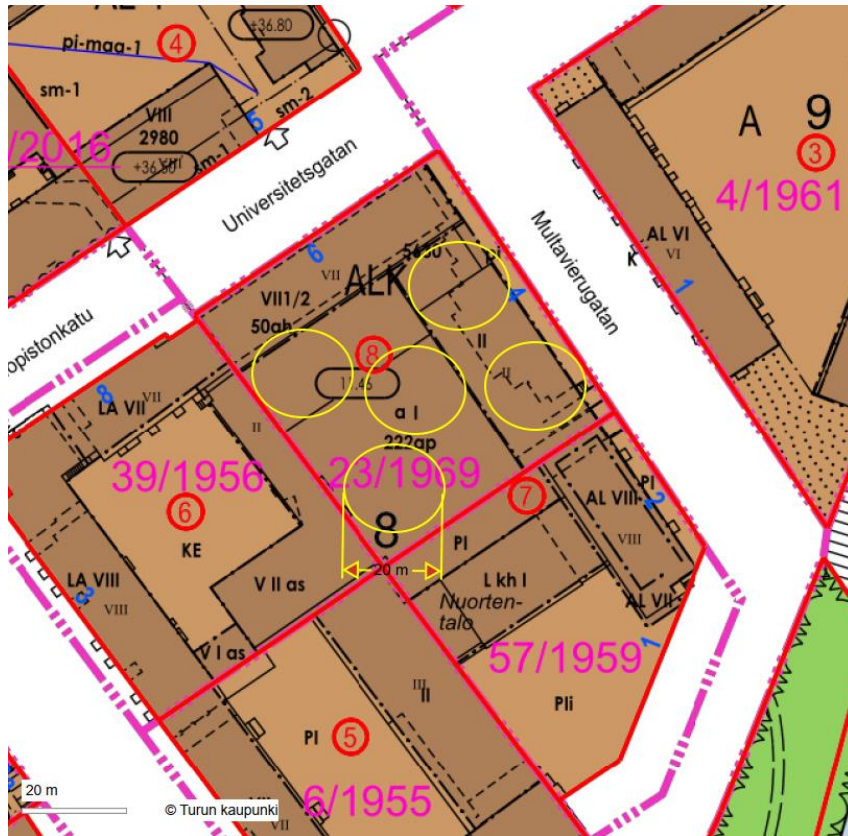
Lämpökaivojen poraamista varten on asetettu määräyksiä, joilla ennaltaehkäistään poraamisesta mahdollisesti aiheutuvia ympäristöhaittoja. Kuten kappaleessa 6.1 tuli esille, lämpökaivojen poraaminen voi aiheuttaa haittaa pohjaveden laadussa tai virtauksissa. Alla olevaan kuvaan 9 on merkitty punaisella kohteen sijainti Turun alueen pohjavesikartalla. Sinisellä rajatut alueet kuvastavat pohjavesialueita. Kartasta voidaan todeta, että kohde ei sijaitse pohjavesialueella, joten lämpökaivojen poraamiselle ei ole ympäristöhaittaestettä.



*Kuva 9. Kohteen sijainti Turun alueen pohjavesikartalla*

Maalämpöjärjestelmää varten on suositeltavaa, että lämpökaivojen etäisyys toisistaan on 20 metriä. Toisaalta, pienempikin etäisyys kuten 15 metriä, jopa 10 metriä riittää silloin, kun lämpöä ladataan takaisin kaivokenttään ympäri vuoden. Kun lämpöä taas otetaan enemmän kuin ladataan takaisin, tulee turvavälin olla suositeltu 20 metriä. (Ympäristöopas, 2013) Alla olevassa kuvassa 10 on piirretty Yliopistonkatu 6 tontille mahtuvat lämpökaivot 20 metrin etäisyydellä toisistaan. Kaivoja mahtuisi rajatulle alueelle yhteensä viisi.

Huomioitavaa on kuitenkin se, että maalämpökaivot tulisi porata kellarikerroksen parkkihallissa, koska kohteen takapihalla sijaitsevalla ulkoalueelta ei ole maakontaktia. Poraus onnistuu myös pienemmässä tilassa erikoiskalustolla, mutta s. (Tom Allen Senera, n.d)



Kuva 10. Maalämpökaivot kiinteistön tontilla

#### 6.4 Kohteen lämmitystehontarve

Tavallinen asuinrakennus vaatii lämmitykseensä tehoa keskimäärin 20–30 wattia/rakennuskuutiometri ( $W/m^3$ ). (Bioenergianeuvoja, n.d)

Rakennuksen lämmitystehontarpeen määrittämiseen on suotavaa käyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisia kaavoja, mutta koska kyseessä on alkuvaiheen selvitys, jonka tarkoituksena on antaa suuntaa antavia arvoja, käytetään tässä laskennassa tavallisen asuinrakennuksen keskimääräistä lämmitystehon arvoa, 20  $W/m^3$ .



Kun kohteen tilavuus 16 775 m<sup>3</sup> kerrotaan 20 W/m<sup>3</sup>, saadaan lämmitystehon tarpeeksi 335 kW.

Osatehomoittamalla voidaan maalämmön avulla kattaa 70 % kokonaislämmitystarpeesta. Näin ollen lämmitystehontarve laskisi 234 kW:ia. Maalämpöjärjestelmää voi tehostaa entisestään lisäämällä järjestelmän rinnalle poistoilmalämpöpumppu. Yhdistämällä PILP maalämpöjärjestelmään, voidaan porattavien lämpökaivojen määrää vähentää ja kesäaikana lämpökaivoja voidaan ladata poistoilmalla, kun päälämmitystarve voidaan kattaa PILP:in avulla. Tämän myötä lämmityskaudella lämpökaivoista on enemmän lämpöenergiaa saatavilla. (Tom Allen Senera, n.d) Kun maalämpö ja poistoilman lämmöntalteenotto toimivat, rinnakkaislämmönkeruunesteeseen lämpötila voi kohota jopa +15 asteeseen. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen ja käyttöveden lämmitys on tehokkaampaa, koska lämmitys tapahtuu paremmalla lämpökertoimella. Näin saadaan entistä energiatehokkaampi tulos kiinteistön lämmitykseen. (Tom Allen Senera, n.d)

Lämpökaivon syvyys mitoitetaan rakennuksen lämmitysenergian ja lämmitystehontarpeen kaavalla 9

$$L = P_p / P_m \left( 1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (9)$$

Jossa,

$P_p$  = lämpöpumpun lämmitysteho

$P_m$  = maapiiriin ominaistuottoteho (10–15 W/m)

$COP$  = lämpökerroin

## 6.5 Tarjouspyyntömitoitus

Kohteelle tehtiin tarjouspyyntö maalämmöstä. Tarjouspyyntö saatiin NIBE:n projektimyynnistä. Lähetettyjen lähtötietojen pohjalta NIBE tarjoaa kohteelle NIBE F1345-40 -maalämpöpumppua, joka on tarkoitettu suuriin asuin- ja teollisuuskiinteistöihin. Lämpöpumppu kattaa koko kiinteistön lämmityksen tarpeen lämmittämällä myös käyttöveden. Järjestelmä koostuu kahdesta lämpöpumppuyksiköstä sekä näytöllä varustetusta keskusyksiköstä. Keskusyksiköllä ohjataan lämpöpumppua ja mahdollista lisälämmitystä. Järjestelmässä on myös sisäänrakennetut kiertovesipumput, mikä puolestaan helpottaa lämpöpumpun kytkentää lämmitys- ja lämmönkeruupiireihin. (Nibe, 2023)

### 6.5.1 Laskelman tulokset

	<b>Ennen lämpöpumpun asennusta (kWh/vuosi)</b>	<b>Lämpöpumpun asennuksen jälkeen (kWh/vuosi)</b>
<b>Ostoenergia lämmitys (kaukolämpö, MLP sähkö)</b>	788 000	77 272
<b>Ostoenergia sähkö (lisälämpö)</b>	15 129	462 432
<b>Yhteensä</b>	803 129	539 704
<b>Energiansäästö</b>		263 424

Energialaskelman tuloksista käy ilmi, että asentamalla kohteeseen maalämpöpumppu, on vuosittainen energiansäästö kokonaisuudessaan 263 424 kWh. Ostoenergian säästön lisäksi, lämpöpumpun asentamisella saavutettaisiin CO<sub>2</sub> päästöissä 49 929 kg/vuosi säästöt. Verrattuna kaukolämmitykseen, maalämpöpumpun asentamisen jälkeen kohde tulee kuitenkin kuluttamaan huomattavasti enemmän sähköä järjestelmän käyttöön.



*Kaavio 1. Kaukolämpö ja maalämpö kulutusvertailu*

Yllä olevassa kaaviossa nro 1 on havainnoitu pilottikohteen vuosittaiset ostoenergian kulutukset ennen lämpöpumpun asennusta ja lämpöpumpun asennuksen jälkeen.

## 7 Pohdinta/loppupäätelmät

Eri lämpöpumppuvaihtoehtojen läpi käymisen jälkeen, voi todeta, että kohteessa on valtava parannuspotentiaali energiatehokkuuden – ja talouden kannalta. Pelkällä poistoilmalämpöpumpulla saadaan jo merkittäviä säästöjä, mutta yhdistämällä maalämpö PILP:in lisäksi voidaan saavuttaa vielä merkittävämpiä säästöjä. Koska kaukolämmöstä ei todennäköisesti haluta luopua, voisi seuraavana vaiheena olla mahdollista tarkastella myös maalämmön käyttämistä jäähdyttämiseen, jolloin PILP:iin varattua maalämpöä voisi käyttää kesäisin jäähdytystarkoituksiin ja energiakaivoja ei tarvitse porata niin monta, mikä helpottaisi myös parkkihallissa työskentelyä poraamisen kannalta. Jätelämmön talteenoton tarkastelu oli myös mielenkiintoinen lisä työhön ja varmasti kannattava hanke.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja työn aikana tuli opittua myös paljon.

Opinnäytetyötä voisi jatkaa dynaamisella laskennalla selvittämään todellinen jäähdytystehontarve ja tarkemmalla mitoituslaskennalla poistoilmalämpöpumppua ja maalämpöjärjestelmää varten. Kohteeseen on suunniteltu myös aurinkosähköjärjestelmää, joten sen lisääminen alustaviin laskentoihin sähkön säästämiseksi antaisi vielä paremmat kustannussäästöt kulutuksissa.

## Lähteet

Kylmäextra 1/2021, viitattu 12.6.2023

[https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra\\_1\\_2021/lampopumppu\\_eli\\_miten\\_s\\_e\\_toimii](https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_1_2021/lampopumppu_eli_miten_s_e_toimii)

Kiinteistöliito, PILP-ohje, viitattu 12.6.2023

[http://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa\\_ilmassa\\_Ilmalampopumput.pdf\\_pilp\\_kappale\\_2.2](http://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf_pilp_kappale_2.2). <https://www.kiinteistoliitto.fi/media/2342/pilp-ohje.pdf>

HSY verkkokurssit, poistoilmalämpöpumppu, viitattu 26.8.2023

<https://koutsu.hsy.fi/courses/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/poistoilmalampopumppu/topic/pilp-jarjestelma/>

Sandberg Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 2. 2014. Viitattu 27.8.2023

Ympäristöministeriö, Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä.

Viitattu 30.9.2023

[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf,-Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa-730346C8\\_01D2\\_49FB\\_B9EA\\_9961965EDB22-111934.pdf/c9fa581b-afd5-7409-e2fb-935a27595b4a/Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf,-Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa-730346C8\\_01D2\\_49FB\\_B9EA\\_9961965EDB22-111934.pdf?t=1603260181573](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf,-Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa-730346C8_01D2_49FB_B9EA_9961965EDB22-111934.pdf/c9fa581b-afd5-7409-e2fb-935a27595b4a/Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf,-Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa-730346C8_01D2_49FB_B9EA_9961965EDB22-111934.pdf?t=1603260181573)

Kerttula Valtteri, Asuinkerrostalon jäähdytysjärjestelmävertailu, 2019, opinnäytetyö. Viitattu 30.11.2023

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167935/Kerttula%20Valtteri.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ympäristöministeriö 2012, D3 laskentaopas Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen. Viitattu 30.9.2023

[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893\\_4715\\_4FD1\\_B685\\_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893\\_4715\\_4FD1\\_B685\\_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052)

Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa, 2007. LVI30-10416.  
Rakennustieto Oy

Talotekniikkainfo. Viitattu 30.9.2023 <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/poistoilman-lammontalteenotto-lampopumppujarjestelmalla>

Tom Allen Senera, jäteveden lämmöntalteenotto. Viitattu 7.10.2023  
<https://www.tomallensenera.fi/jateveden-lammon-talteenotto>

Wasenco, jäteveden lämmöntalteenotto. Viitattu 7.10.2023  
<http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/>

Tuomo Leppänen, Ecowec, sähköpostiviestiketju. Viitattu 7.10.2023

Innoair, kerrostalon viilennysopas, kaava. Viitattu 1.12.2023  
<https://www.innoair.fi/Kerrostalo-viilennys-opas>

Energianeuvonta, lämpimän jäteveden energiankulutus. Viitattu 8.10.2023  
<https://energianeuvonta.fi/wp-content/uploads/2021/03/Kotiteht%C3%A4v%C3%A4-1.pdf>

Turku Energia, kausihinnat, syksy 2023. Viitattu 8.10.2023  
<https://www.turkuenergia.fi/asiakaspalvelu/kaukolampohinnasto/>

Geologian tutkimuskeskus, energiakaivon asennus ja käyttö, ympäristötarkastelu 2021. Viitattu 2.11.2023  
[https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/17\\_2021.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/17_2021.pdf)

Geoenergiakeskus, geoenergiatietoa. Viitattu 2.11.2023  
<https://www.geoenergiakeskus.fi/geoenergiatietoa/>

Ympäristöopas 2013, Energiakaivo. Viitattu 2.11.2023  
<https://www.pipelife.fi/content/dam/pipelife/finland/marketing/general/stakeholder-publications/brochures/ymparist%C3%B6opas-energiakaivo-2014.pdf>

Bioenergianeuvoja, energian kulutus ja tehon tarve. Viitattu 3.11.2023  
<https://www.bioenergianeuvoja.fi/biolampolaitos/energian-kulutus-ja-tehon-tarve/>

Tom Allen Senera, poistoilman lämmöntalteenotto, video. Viitattu 2.11.2023  
<https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto>

Nibe tuotetietoesite valmistajalta, 2023. Viitattu 4.11.

Ympäristöopas, energiakaivo-opas 2013. Viitattu 8.11.2023

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lahti Energia, hybridikytkentä. Viitattu 10.11.2023

<https://www.lahtienergia.fi/hybridikytkentaohje/>

Energiateollisuus K1/2021 määräykset. Viitattu 10.11.2023

Tom Allen Senera, lämmöntalteenotto. Viitattu 10.11.2023

<https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto>

Euroopan parlamentti, lehdistötiedote. Viitattu 14.11.2023

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20230310IPR77228/rakennusten-energiatehokkuus-eu-parlamentti-hyvaksyi-kantansa>

Eurooppa neuvosto, Eurostat, syyskuu 2022. Viitattu 14.11.2023

<https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/>

Eurooppa neuvosto, infografiikka. Viitattu 14.11.2023

<https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/>

Tom Allen Senera, poistoilmanlämmöntalteenotto ja maalämpöjärjestelmä.

Viitattu 15.11.2023

<https://www.tomallensenera.fi/maalampo-ja-poistoilman-lammon-talteenotto>

Tom Allen Senera, lämmöntalteenotto. Viitattu 15.11.2023

<https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto>

Urakkamaailma, maalämpö taloyhtiöön. Viitattu 15.11.2023

<https://www.urakkamaailma.fi/maalampo-taloyhtioissa>

Lapon, TRT-mittaus. Viitattu 15.11.2023

<https://www.lapon.fi/trt-mittaus>

Tom Allen Senera, maalämpökaivo mahtuu piennellekin tontille. Viitattu 1.12.2023

<https://www.tomallensenera.fi/blogi/maalampokaivo-mahtuu-pienellekin-tontille>

Etuovi, poistoilmalämpöpumppu tekniseen tilaan vai kodinhoitohuoneeseen.

Viitattu 1.12.2023

<https://www.etuovi.com/koti/blogi/poistoilmalampopumppu-tekniseen-tilaan-vai-kodinhoitohuoneeseen/>



## Taulukko 1, Käyttötarkoituksiluokkien jäähdytysrajat kesäaikana (taulukko 1)

Taulukko 1. Kesälämpötilatarkasteluissa käytettävät käyttötarkoitukseluokan mukaiset jäähdytysrajat.

Käyttötarkoitukseluokka	Jäähdytysraja
	°C
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	27,0
Asuinkerrostalo	27,0
Toimistorakennus	25,0
Liikerakennus	25,0
Majoitusliikerakennus	25,0
Opetusrakennus ja päiväkot	25,0
Liikuntahalli	25,0
Sairaala	25,0

## Taulukko 2, Käyttötarkoitukseluokkien käyttöajat ja lämpökuormat (taulukko 7)

Taulukko 7. Rakennusten standardikäyttö ja kesälämpötilatarkasteluissa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti. Käyttöaika esittää kuinka monta tuntia vuorokaudessa ja päivää viikossa rakennusta käytetään. Käyttöaste on keskimääräinen valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana.

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika <sup>d</sup>	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet		Ihmiset <sup>a</sup>
		h/24h	d/7d			-	W/m <sup>2</sup>	
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2	
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3	
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5	
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2	
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4	
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14	
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5	
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8	

a. ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6,

b. asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c. ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvitys RakMK D3 2012 mukaisesti.

d. ilmanvaihdon käyttöaika taulukon 5 mukaisesti.